

**O impacto da descanalização e restauração de sistemas fluviais no microclima urbano: estudo de caso Ribeirão Arrudas, Belo Horizonte (MG)**

**The impact of decanalization and restoration of fluvial systems in urban microclimate: case study of Ribeirão Arrudas, Belo Horizonte (MG)**

Amanda Granha Magalhães Gomes e Silva  
Universidade Federal de Minas Gerais  
amandagranha@gmail.com

Wellington Lopes Assis  
Universidade Federal de Minas Gerais  
assisw@gmail.com

**Resumo**

Belo Horizonte apresenta uma expressiva rede hidrográfica que se perdeu na paisagem urbana devido ao constante esforço das autoridades em canalizar e cobrir os sistemas fluviais do município ao longo do tempo. No entanto, novas tendências de planejamento urbano que integram os sistemas fluviais na paisagem de forma sustentável vêm ganhando força no mundo. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo analisar os diversos impactos que a descanalização de sistemas fluviais traz sobre o microclima urbano, utilizando como objeto de estudo o Ribeirão Arrudas. Para estabelecer um cenário comparativo, dois abrigos meteorológicos foram instalados em contextos diferentes do ribeirão: canalizado e coberto, e descanalizado, próximo ao seu estado natural. Com a coleta dos dados primários dos abrigos, mais dados oficiais de três estações meteorológicas operadas pelo INMET, foi possível observar que ambientes com superfícies aquáticas descobertas e com margens vegetadas possuem, em média, temperatura cerca de 2°C menor e umidade relativa do ar quase 4% maior, além de ventilação com maior intensidade. Essas variações, em conjunto, proporcionam mais facilmente uma condição de conforto térmico, que auxilia no bem-estar da população dos centros urbanos.

**Palavras-chave:** descanalização, microclima urbano, Ribeirão Arrudas

**Abstract**

The city of Belo Horizonte has an expressive hydrographic network that has been lost in the urban landscape due to the constant efforts of the authorities to channel and cover the city's rivers over time. However, new trends in urban planning that integrate rivers to the landscape are gaining strength in the world. In this context, this study aimed to analyze the different impacts that the daylighting of a river can bring to the urban microclimate, using Ribeirão Arrudas as the object of the study. To establish a comparative scenario, two meteorological shelters were installed along its course, one in an area where the river is uncovered and close to its natural state and the other one in a channeled and covered area of it. With the collection of primary data from shelters plus official data from three meteorological stations operated by INMET, it was possible to observe that environments with uncovered aquatic surfaces and with vegetated margins have, on average, a lower temperature of about 2°C and a relative humidity almost 4% higher, in addition to a more intense ventilation. These variations, taken together, can more easily provide a condition of thermal comfort, which helps in the well-being state of the population of urban centers.

**Keywords:** daylighting streams, urban microclimate, Ribeirão Arrudas

**Introdução**

Historicamente, a presença de uma vasta rede hidrográfica foi considerada estratégica na formação de núcleos urbanos, uma vez que a população poderia se beneficiar da oferta hídrica na irrigação, transporte, abastecimento humano e até mesmo em atividades de lazer (BORSAGLI; BERNARDES, 2015). Esse pensamento, que a presença de rios no ambiente urbano era vantajosa, predominou até o século XVIII. No entanto, a partir do século XIX, o processo de industrialização e o ritmo intenso de urbanização mudaram a relação da cidade com seus rios (BORSAGLI; BERNARDES, 2015).

Com a falta de um saneamento integrado eficiente, urbanização desordenada e falta de estrutura eficiente de saneamento, a poluição passou a dominar os cursos d'água de Belo Horizonte e os seus leitos passaram a ser considerados insalubres. Nesse contexto, os sistemas fluviais passaram a ser vistos como obstáculos ao desenvolvimento e, com isso, grande parte dos córregos dos meios urbanos tiveram seu curso natural completo ou parcialmente modificado, devido ao surgimento das avenidas sanitárias. Segundo Borsagli (2016), essas avenidas surgem na malha urbana seguindo um pensamento de que a canalização e retificação dos sistemas fluviais levariam mais rapidamente para fora da cidade as águas dos rios e os riscos associados a elas.

Tais processos acarretaram em diversas consequências para as cidades. Entre estas estão as alterações no microclima urbano, principalmente devido às mudanças nas características da superfície pela troca de sistemas naturais por elementos artificiais. Com a modificação da disposição dos corpos hídricos, ocorrem alterações nas dinâmicas de troca de calor entre a superfície e a atmosfera e, conseqüentemente, mudanças no comportamento dos parâmetros meteorológicos, elementos definidores do microclima urbano (ASSIS, 2010). Essas relações se tornam ainda mais relevantes se contextualizadas junto com a crescente preocupação com os cenários de ilha de calor e núcleos de aquecimento, que os grandes centros urbanos das regiões tropicais vivenciam, uma vez que com a reintegração da rede hidrográfica nas cidades, há uma potencial melhoria do conforto térmico da população.

Nos últimos anos, algumas tendências de planejamento urbano vêm ganhando espaço em contrapartida à crença de que canalizações são as melhores opções para sistemas fluviais urbanos (HEIJS; YOUNG, 2012). Nelas, os corpos d'água deixam de ser um elemento que deve ser escondido e modificado para que seja controlado, e passam a ser um elemento reintegrado ao meio urbano, através da restauração de suas características naturais pela descanalização, recuperação e preservação das margens. Estas práticas mostram um pouco de um saneamento integrado que historicamente não ocorreu nas cidades brasileiras.

O objetivo geral deste trabalho é analisar os impactos no meio urbano decorrentes das descanalizações e demonstrar que áreas descanalizadas e restauradas maximizam o conforto térmico, por possuírem temperaturas menores, maior umidade e maior ventilação, se comparadas com áreas canalizadas no meio urbano. Dessa forma, o estudo visa mostrar que o processo de descanalização auxilia na melhoria da qualidade de vida para a população residente nos grandes centros urbanos. A cidade escolhida neste trabalho foi Belo Horizonte-MG devido à sua extensa rede hidrográfica que, segundo a PBH (2016), equivale a 671,5 km, dos quais 48% pertencem à Bacia Hidrográfica do Ribeirão Arrudas, o que explica a sua relevância no contexto do município.

## **Materiais e Método**

Para atingir o objetivo proposto, foi necessário realizar as seguintes etapas: definição do objeto e da área de estudo, revisão bibliográfica da base teórica e de estudos de caso, caracterização da área de estudo, coleta de dados primários e secundários, tratamento dos dados e por fim, interpretação dos resultados.

A escolha do sistema fluvial como área de estudo levou alguns fatores em consideração, entre eles está a expressividade do sistema fluvial no contexto urbano. Pela sua extensão e presença em áreas mais centrais de Belo Horizonte, o Ribeirão Arrudas é considerado por muitos o principal rio do município. Como realçado por Borsagli e Bernardes (2015), o ribeirão também exerceu certo protagonismo no histórico de ocupação urbana de Belo Horizonte, já que foi inicialmente um elemento integrador e indutor da urbanização. Portanto, a área de estudo foi definida como a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Arrudas, mais especificamente o seu curso principal. Definida a área de estudo, foi possível realizar a caracterização da bacia através dos principais fatores geocológicos que possam estar correlacionados com suas dinâmicas climáticas.

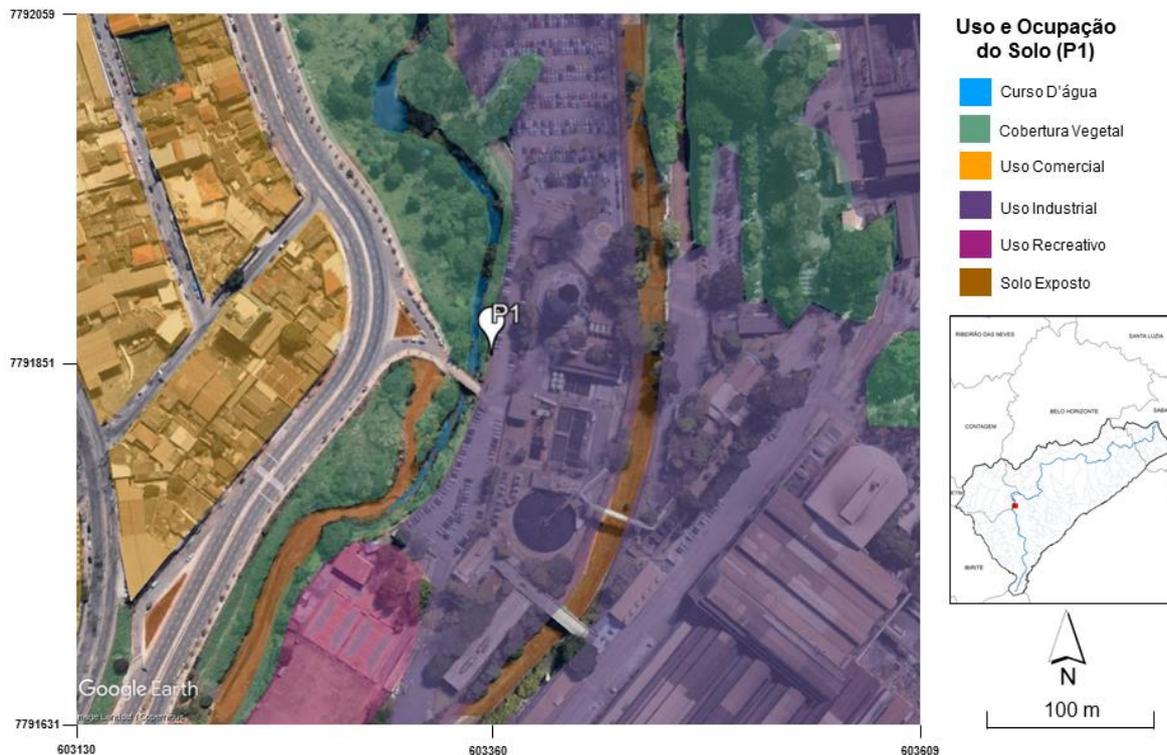
Como forma de fundamentar a discussão dos impactos da descanalização sobre o microclima urbano, foi realizada uma coleta de dados primários através da instalação de dois abrigos meteorológicos instalados em dois contextos diferentes do ribeirão: canalizado e coberto, e descanalizado, próximo ao seu estado natural. O objetivo foi tentar encontrar duas áreas em que o Ribeirão Arrudas se apresenta em condições distintas, mas dentro de perímetro urbanizado, pois uso e ocupação do solo muito diferentes influenciariam a legitimidade da comparação dos parâmetros climáticos. Em seguida a essa definição, foram realizadas algumas visitas in loco ao

longo do leito do Ribeirão Arrudas nas regiões que haviam sido pré-mapeadas, através da análise das imagens de satélite, como potenciais pontos amostrais. Com isso, foi possível observar a viabilidade de instalação dos equipamentos nos pontos e iniciar os diálogos necessários com as empresas presentes nas adjacências destes pontos. Depois de obtidas as devidas licenças, foi possível realizar o experimento de campo nas dependências das seguintes empresas: Vallourec (P1) e loja Carbig (P4), que pertence ao grupo automotivo Carbel.

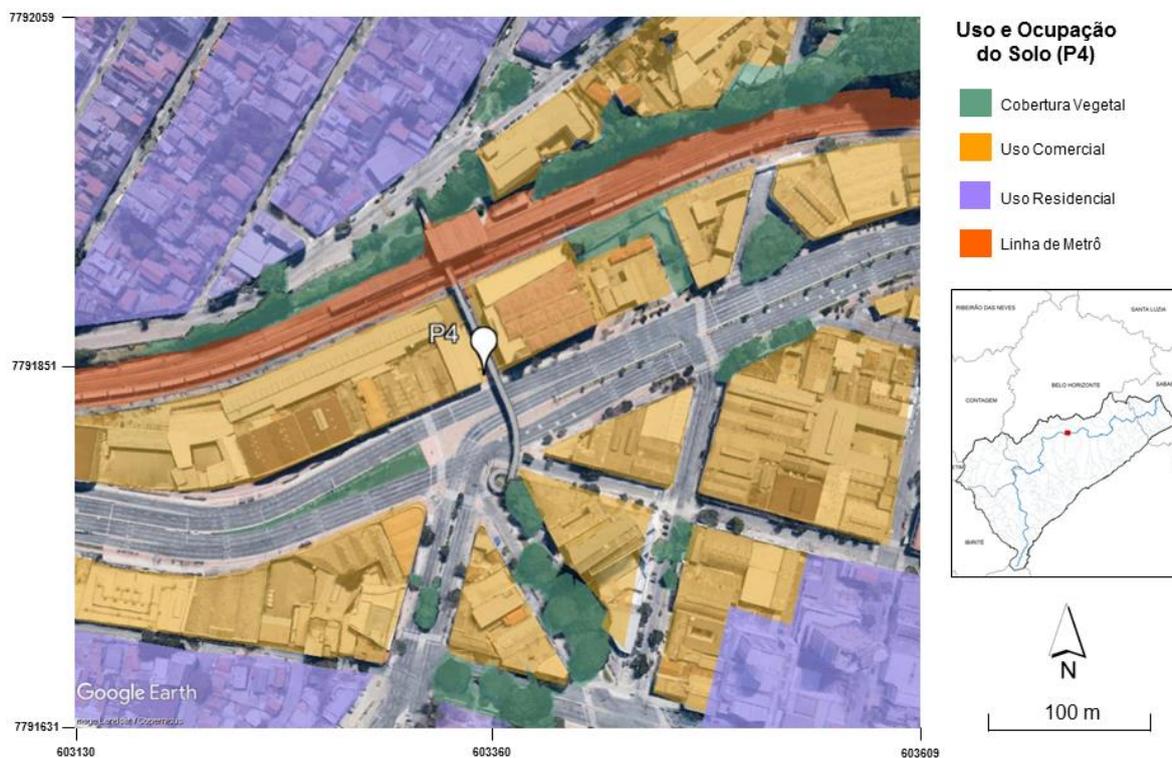
O P1 ficou em uma região de vale próxima ao acesso da Portaria II da indústria Vallourec, com acesso pela Av. Tereza Cristina, no Bairro das Indústrias 1. À montante do local onde P1 foi posicionado, o ribeirão passa a ser canalizado a aproximadamente 270 metros desse ponto e ressurge na Av. Tereza Cristina a cerca de 2,70 km do mesmo ponto, ambas as distâncias em linha reta. Já à jusante, o Arrudas abandona seu leito natural a aproximadamente 1,6 km do ponto. A partir do local inicial da canalização, ele fica coberto por cerca de 200 metros para depois voltar à paisagem urbana canalizado, porém a céu aberto, acompanhando o desenho da Av. Tereza Cristina. Na figura 1 é possível observar a caracterização do uso e ocupação do solo próximo ao primeiro ponto amostral instalado (P1 - Vallourec).

Já o P4 ficou na Av. do Contorno, próximo à divisão entre os bairros Carlos Prates e Barro Preto. Este local está localizado a cerca de 8,0 km em linha reta ou a cerca de 13,0 km, considerando o percurso do seu leito, do ponto onde P1 foi posicionado. O P4 foi instalado a cerca de 30 metros da provável linha de talvegue do Arrudas canalizado, na loja Carbig. O Arrudas volta a ser descanalizado a cerca de 1,3 km à montante e cerca de 1,0 km à jusante do local onde P4 estava, ambas as distâncias em linha reta. P4 foi posicionado em um local completamente urbanizado que, ao contrário de P1, conta com apenas alguns focos de maior concentração de vegetação arbórea. Na figura 2 é possível observar a caracterização do uso e ocupação do solo próximo ao segundo ponto amostral instalado (P4 - Carbig).

**Figura 1.** Uso e ocupação do solo próximo ao ponto amostral P1 – Vallourec



**Figura 2.** Uso e ocupação do solo próximo ao ponto amostral P4 – Carbig



O período escolhido para realização do experimento foi uma semana durante o inverno, no mês de agosto de 2019. Esse período, por ser tipicamente seco, diminuiu a possibilidade de interferências da precipitação nas medições necessárias para observar gradientes térmicos e hídricos entre os pontos amostrais. O experimento de campo ocorreu das 12:00 horas do dia 09 de agosto às 12:00 horas do dia 16 do mesmo mês. Nesse período, foram coletados dados meteorológicos (temperatura e umidade relativa) em intervalos horários. Como forma de enriquecimento dos dados que seriam analisados, em um período de 12 horas consecutivas, foram analisados, de forma manual, parâmetros como velocidade e direção do vento, nebulosidade e se houve alguma interferência sobre os equipamentos, através de fluxo de pedestre ou carros. A velocidade do vento foi estimada com o auxílio de uma fita que ficou presa à haste do abrigo e da escala Beaufort, conforme procedimento metodológico utilizado por Assis (2010). Como a escala apresenta intervalos de velocidade e não valores específicos, contabilizou-se as médias de cada intervalo. Já a direção foi identificada com a ajuda dos eixos cardeais escritos na base da haste do abrigo. Por fim, a nebulosidade foi definida com base em quantos décimos da visão da abóboda celeste estavam ocupados por nuvens (SEZERINIO; MONTEIRO, 1990). A coleta destes dados ocorreu concomitante nos dois pontos amostrais de meio-dia do dia 09 de Agosto à meia-noite do mesmo dia.

Para o levantamento dos dados meteorológicos de temperatura e umidade relativa, foram utilizados os equipamentos termo-higrômetros datalogger da fabricante TFA Dostmann / Wertheim, modelo 30.3015. Esses dispositivos possuem uma tela onde é possível visualizar temperatura instantânea e, por serem capazes de gravar conjuntos de dados, fornecem dados também de temperatura mínima, máxima e média de um espaço temporal específico. A mesma coisa acontece com a umidade relativa. Além desses dois fatores, é possível também visualizar a temperatura instantânea do ponto de orvalho, mas que para o objetivo desse estudo não foi necessário.

Tais equipamentos foram instalados em abrigos meteorológicos, que seguem as diretrizes do modelo proposto pelo Prof. José Roberto Tarifa, do Laboratório de Climatologia da USP. Os abrigos possuem cerca de 2 m de altura, dos quais cerca de 1,5 m equivale a haste. Eles foram confeccionados com madeiras compensadas de 10 mm de diâmetro e, como forma de maximizar o albedo e, portanto, minimizar a absorção de calor pelo abrigo, foram pintados de branco. Dessa forma, os equipamentos sofrem uma menor influência da emissividade do abrigo. Para maiores especificações técnicas, consulte Assis (2010). O abrigo com o datalogger instalado pode ser visto na figura 3.

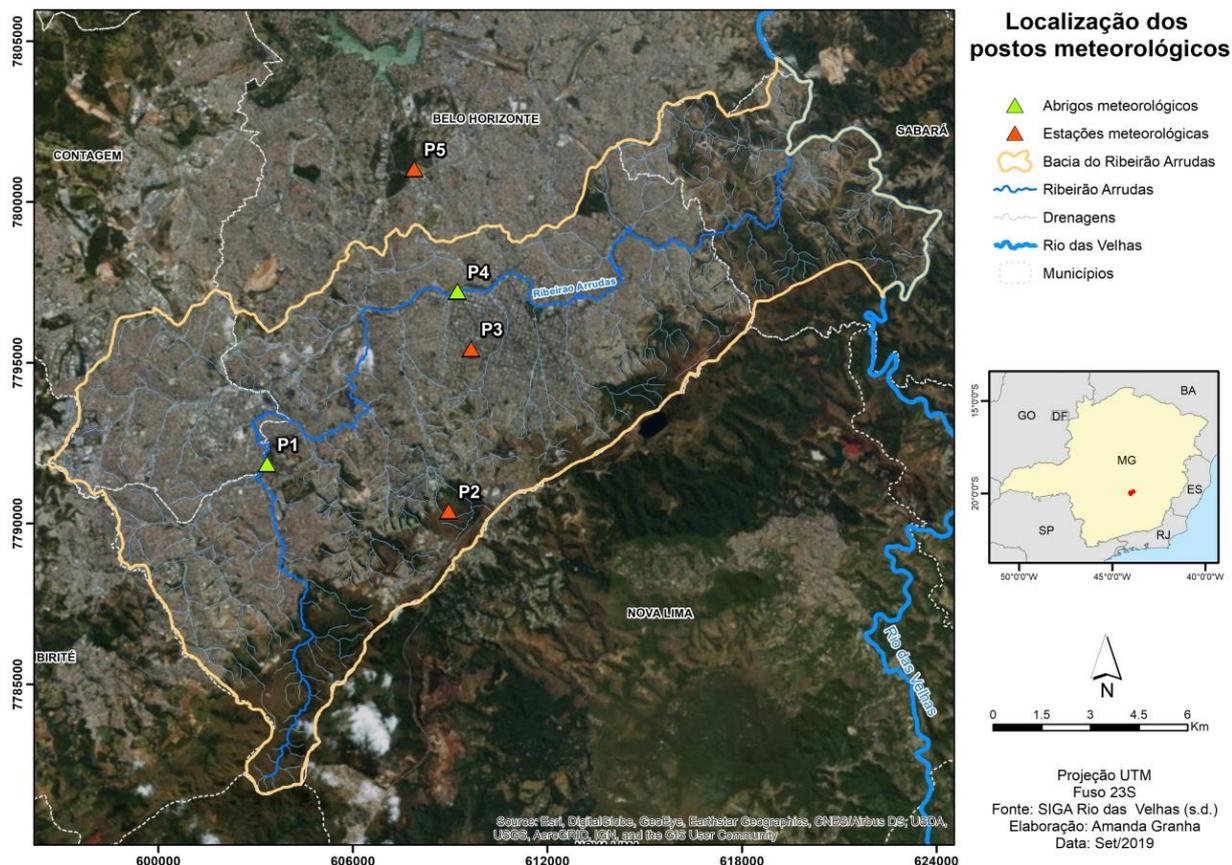
**Figura 3.** Abrigo meteorológico do experimento de campo

Para tornar o cenário comparativo mais robusto, adicionaram-se na comparação os dados para o mesmo período de três estações meteorológicas operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Belo Horizonte. A estação convencional Belo Horizonte (aqui denominada Lourdes/P3) e as estações automáticas Cercadinho (P2) e Pampulha (P5). As localizações dos cinco pontos de coleta de dados utilizados, dois abrigos e três estações meteorológicas, podem ser vistas na figura 4. Já na tabela 1 estão resumidas as coordenadas dos pontos.

Analisando a variação altimétrica entre os pontos é possível observar que a altitude potencialmente interfere nos dados climáticos obtidos, já que segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), o gradiente vertical médio da troposfera é de  $0,65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  e tem-se uma amplitude máxima de cerca de 346 metros entre os pontos. No entanto, a diferença da altitude entre os dois abrigos instalados (P1 e P4), que são o foco desse estudo, foi de apenas 50 metros e, nas condições sinóticas observadas, não interferiu nos dados de temperatura.

Nas figuras 5 e 6, é possível observar os abrigos já posicionados nos pontos amostrais da Vallourec e da Carbig, respectivamente. Eles foram posicionados de costas para o eixo geográfico norte como forma de minimizar a incidência de radiação solar sobre o equipamento.

**Figura 4.** Localização dos postos meteorológicos utilizados no estudo



**Tabela 1:** Coordenadas e altitude dos abrigos e das estações meteorológicas

Ponto Amostral	Coordenadas		Altitude
	Latitude	Longitude	
P1 (Vallourec)	19° 58' 01,5" S	44° 00' 43,8" W	914,0 m
P2 (Cercadinho)	19° 58' 48,1" S	43° 57' 31,1" W	1200,0 m
P3 (Lourdes)	19° 56' 03,8" S	43° 57' 8,3" W	915,5 m
P4 (Carbig)	19° 55' 05,8" S	43° 57' 23,0" W	864,0 m
P5 (Pampulha)	19° 53' 02,2" S	43° 58' 9,8" W	854,0 m

Após o fim do período de coleta de dados, foi necessário fazer a transferência dos dados armazenados para o computador. Para isso, foi necessária a utilização do software WS-9010 e um cabo para computador serial RS-232. Inicialmente, os dados foram gravados através da extensão .gr e posteriormente convertidos em .txt, formato que abasteceu uma planilha de excel (.xls).

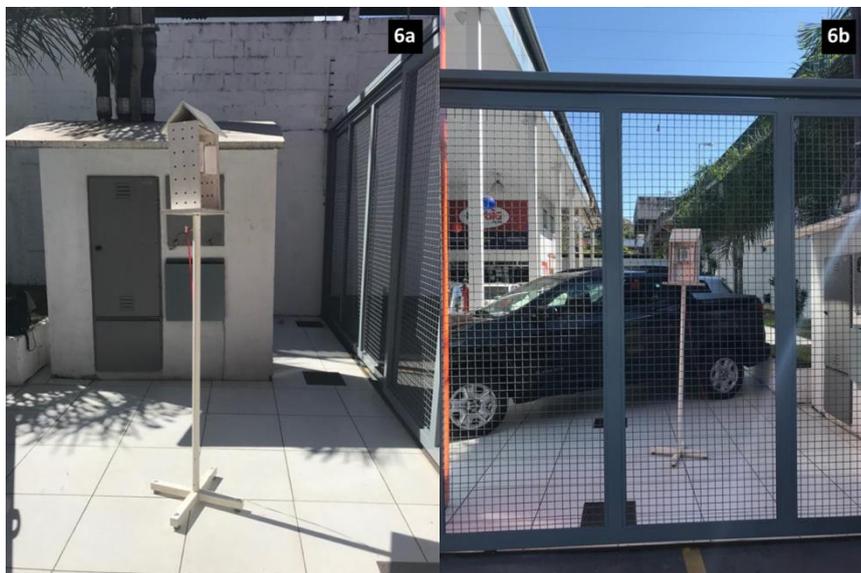
A análise rítmica dos dados foi realizada com base em gráficos gerados com os dados de temperatura do ar (média, máxima e mínima), umidade relativa e vento (velocidade e direção) dos cinco pontos amostrais, conforme metodologia proposta por Monteiro (1971). O objetivo foi

identificar os sistemas atmosféricos de escala sinótica e o ritmo na sucessão dos tipos de tempo observado durante o trabalho de campo. A precipitação não foi considerada, pois não houve ocorrência de chuva no período analisado.

**Figura 5.** Abrigo meteorológico instalado na Vallourec - vista frontal (5a) e traseira (5b)



**Figura 6.** Abrigo meteorológico instalado na Carbig - vista interna (6a) e externa (6b)



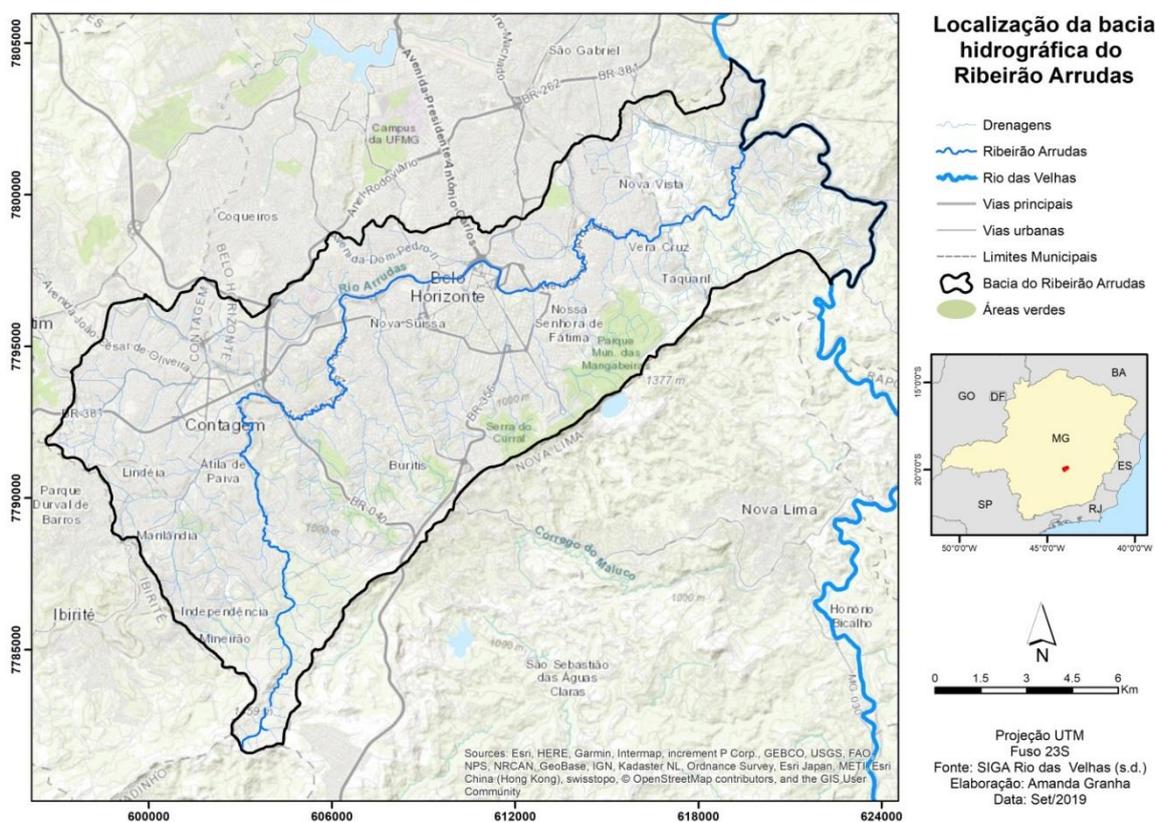
Para realizar a análise adequada dos dados coletados, foi necessária a realização de análises sinóticas do período do experimento de campo acrescido dos três dias que o antecederam e dos três que o sucederam. Dessa forma, foi possível observar quais sistemas atmosféricos estavam atuando sobre a região durante este período. Essa análise foi realizada com o auxílio de

cartas sinóticas desenvolvidas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), imagens do satélite GOES-16, do canal 13 (infravermelho), e dados da estação convencional do INMET – Belo Horizonte (Lourdes/P3). Feito isso, foi realizado um tratamento estatístico sobre os dados coletados de temperatura, umidade relativa e vento dos cinco pontos analisados, por meio do qual se interpretaram métricas como média, desvio padrão, amplitude, mínimo e máximo, considerando-se as características de cada local.

**Caracterização da área de estudo**

O Ribeirão Arrudas é um dos afluentes do Rio das Velhas e sua bacia hidrográfica se encontra na região do Alto Rio das Velhas, englobando os municípios de Contagem, Belo Horizonte e Sabará. Segundo Borsagli (2016), as nascentes do Ribeirão estão localizadas nas vertentes da Serra do Rola Moça, na região do Barreiro, e ele é formado a partir da confluência dos Córregos do Jatobá e do Barreiro. O Ribeirão representa o principal eixo hidrográfico de Belo Horizonte, com 43,41 km de extensão, vazão média de longo período de 5,9 m³/s e vazão mínima, Q7,10, equivalente a 1,57 m³/s (CBH VELHAS, 2016) (FIG.7).

**Figura 7. Delimitação da Bacia Hidrográfica Ribeirão Arrudas**



Segundo o CBH Velhas (2016), a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Arrudas possui uma área de 228,37 km<sup>2</sup> e sua população é de aproximadamente 1,2 milhões de habitantes, dos quais 1.244.620 habitantes fazem parte da população urbana e 388 habitantes fazem parte da população considerada rural. A bacia, com densidade demográfica de cerca de 5.255 hab/km<sup>2</sup>, é a segunda região com maior densidade demográfica na Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, seguida apenas pela Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Onça. A área de estudo é ocupada majoritariamente por área urbana (75,7%) e é caracterizada por um uso intensivo do solo, devido à presença expressiva de edificações e malha de sistema viário (CBH VELHAS, 2016).

Com o processo intenso de urbanização, a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Arrudas sofreu com a retirada de cobertura vegetal e, conseqüentemente, com a perda de áreas permeáveis que viabilizariam a infiltração, o que resulta em um maior acúmulo de escoamento superficial. Além disso, a retirada da vegetação associada ao encobrimento de cursos d'água fez também com que a energia que seria utilizada como calor latente para a evapotranspiração permaneça na atmosfera, o que altera o microclima urbano pelo aumento da temperatura (GARTLAND, 2010). Portanto, as alterações no uso do solo associadas ao processo de urbanização estão intimamente ligadas com alterações das dinâmicas microclimáticas.

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Arrudas é majoritariamente abrangida por parte da Depressão Sanfranciscana e o restante de seu território pelo domínio do Quadrilátero Ferrífero (CPRM, 2004). De acordo com Cajazeiro (2012), a área correspondente à Depressão Sanfranciscana possui morfologia rebaixada, como colinas suaves de encostas côncavo-convexas. Já o Quadrilátero Ferrífero apresenta uma morfologia serrana, onde se encontram as maiores altitudes e declividades da região e as nascentes que dão origem ao ribeirão. A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Arrudas apresenta uma altitude variando entre 750 e 950 metros, predominando as superiores a 850 metros (OLIVEIRA, 2009). Além da interferência sobre a drenagem, a geomorfologia é de alta relevância para análise dos comportamentos climáticos, pois influencia diretamente a temperatura, a umidade relativa do ar e as alterações na direção e intensidade dos ventos (ASSIS, 2010). As unidades geomorfológicas, no meio urbano, podem atuar como facilitadoras de trocas de energia e circulação de ventos ou como obstáculos, assim como os canyons urbanos atuam em escala menor dentro da malha urbana (OKE, 1981). Em relação aos ventos, o atrito e a rugosidade do relevo conjugada com o das edificações geram e conduzem essas circulações.

Em relação ao clima da bacia, pode-se inferir que é equivalente ao clima do município de Belo Horizonte, tropical de altitude. Segundo os dados das normais climatológicas de 1961-

1990, Belo Horizonte possui uma estação com temperaturas mais frias e seca e uma estação com temperaturas mais quentes, onde a maior parte da precipitação anual está concentrada. A temperatura média do mês mais frio (Julho) é 18,0°C e do mês mais quente (Fevereiro) é 23,0°C. O menor índice pluviométrico (11,5 mm) se dá no inverno, mais precisamente no mês de Junho, e o maior índice pluviométrico (292,0 mm) acontece no verão, no mês de Dezembro. Pelo método de Köppen, o clima de Belo Horizonte é classificado como Cwb, o que foi confirmado por Alvares et al. (2013). De acordo com os autores, esta classificação climática é característica de locais onde o inverno é frio e seco e o verão quente e úmido e está presente em 2,1% do território brasileiro. O outro método utilizado para caracterizar o clima do município é o de Thornthwaite e Mather (1955), que se baseia na definição de um balanço hídrico local. Este método determina a disponibilidade de água no solo com base na vegetação. Levando em consideração o balanço hídrico realizado com as normais climatológicas de 1961-1990, o clima de Belo Horizonte para este período seria classificado como mesotérmico úmido do tipo B2rB'3a', com pequena deficiência hídrica no inverno.

## **Resultados e discussões**

### *Análise sinótica e rítmica*

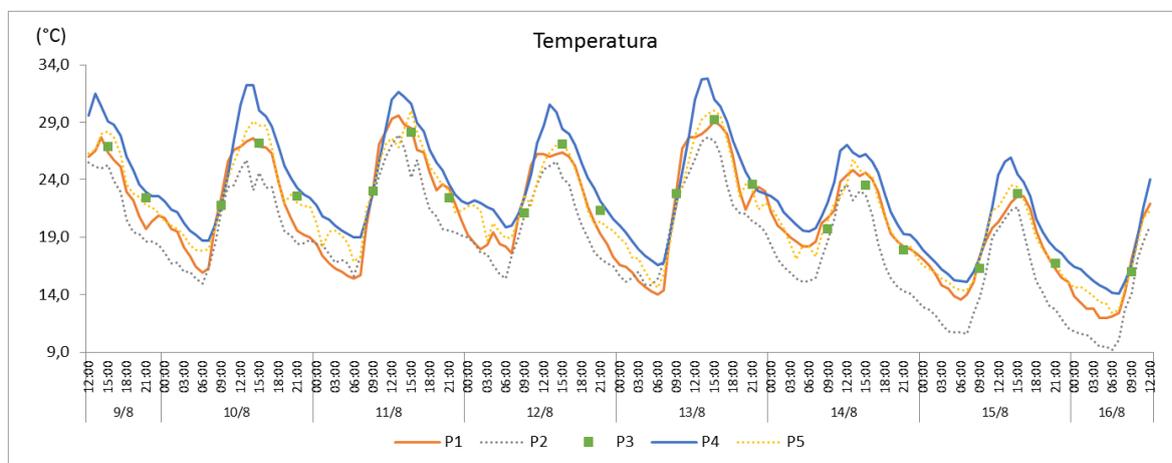
Após a realização do experimento, foi necessário analisar as condições meteorológicas atuantes no município de Belo Horizonte do dia 06/08 ao dia 19/08/2019, período que inclui os dias de trabalho de campo, mais os três dias anteriores e os três dias seguintes. Foi possível verificar que na maioria dos dias (43%) a Massa Polar Atlântica (mPa) foi responsável pelas condições meteorológicas, seguida pela Massa Tropical Atlântica (mTa) com 36%. Com menor incidência estão a Massa Polar Atlântica Tropicalizada (mPat) com 14% e a Frente Fria (FF) com 7%. Já em relação aos dias específicos do trabalho de campo, 09/08 a 16/08/2019, o sistema atuante predominante foi o mTa. Em relação ao comportamento dos parâmetros meteorológicos em superfície, a pressão atmosférica média foi aproximadamente 918 hPa e atingiu seu valor máximo no dia 06/08 e mínimo no dia 19/08, em ambos os dias a mPa foi a massa atmosférica atuante. A temperatura média diária ficou em torno de 21,9°C, com máximo de 30°C e mínimo de 15,7°C, decorrente da FF atuante no dia 14/08, que também reduziu a pressão atmosférica. Observou-se que as maiores temperaturas estão associadas às menores pressões atmosféricas e vice-versa. A umidade relativa do ar variou entre 23% e 72%, com

mínimos diários geralmente nas medições de 18:00 horas. Os ventos tiveram baixa intensidade, com média de 1,46 m/s e máxima de 3,60 m/s, sendo que a direção predominante foi leste e sudeste. Em grande parte dos horários, a menor temperatura coincidiu com a menor velocidade dos ventos. Não houve registro de precipitação durante o período analisado, o que é justificado pelo cenário de estabilidade atmosférica que as mPa e mTa proporcionam nesta época do ano.

*Variação tempo-espacial dos parâmetros meteorológicos*

Como os sistemas atuantes geraram condições de estabilidade (mTa e mPa), as variações térmicas e hídricas observadas entre os pontos passam a ser mais dependentes de condições locais como uso e ocupação do solo, topografia e tipologia e volumetria urbana. No gráfico 1 é possível observar o comportamento da temperatura ao longo do tempo amostral. O resumo das principais métricas estatísticas obtidas para os dados de temperatura coletados está na tabela 2.

**Gráfico 1.1** Evolução temporal da temperatura



**Tabela 2:** Análise estatística da temperatura nos cinco pontos amostrais

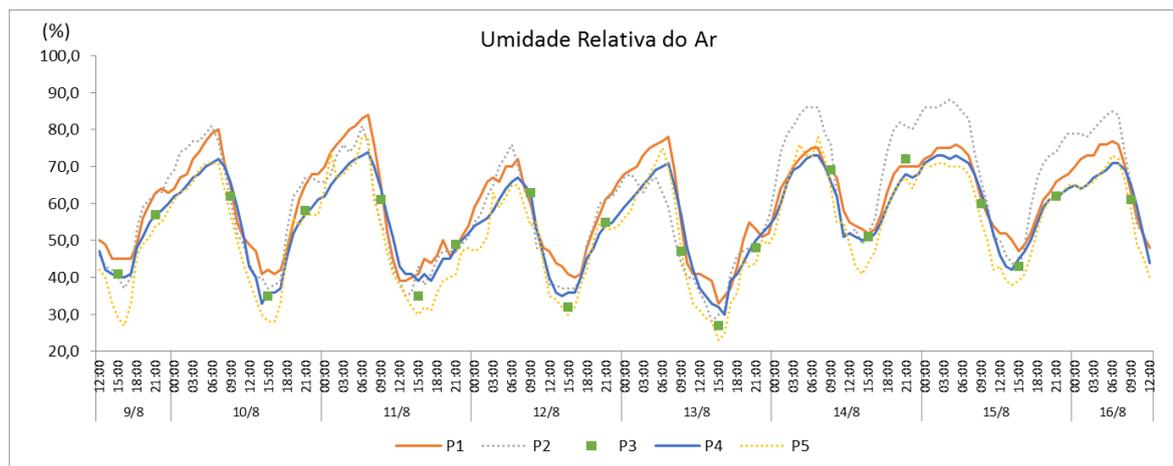
Métrica	P1	P2	P3	P4	P5
Média	20,7	18,7	22,5	22,8	21,2
Desvio padrão	4,5	4,5	3,8	4,6	4,2
Amplitude	17,6	18,7	13,2	18,7	17,6
Mínimo	12,0	9,2	16,0	14,1	12,4
Máximo	29,6	27,9	29,2	32,8	30,0

A temperatura média, assim como as outras métricas apresentadas, depende das características do local e dos fenômenos atmosféricos atuantes no período em que os dados foram coletados. É possível observar na tabela 2 que a temperatura média da estação meteorológica do P2 foi a menor entre os pontos monitorados. Esse dado se justifica pela sua localização em uma Estação Ecológica, de altitude mais elevada (1200m), com predomínio de uso e ocupação do solo de cobertura vegetal, o que auxilia na manutenção de uma temperatura local menor. A segunda menor temperatura média foi a do P1. Apesar do entorno do local estar urbanizado, têm-se um curso d'água descanalizado, o Ribeirão Arrudas, e a presença de vegetação nas suas margens. Esses dois fatores auxiliam na diminuição da temperatura local, principalmente pela utilização de energia que poderia ser transformada em calor sensível, provocando o aumento da temperatura, em calor latente com a evapotranspiração. As regiões dos pontos P3 e P4 são altamente urbanizadas, o que justifica eles serem os dois pontos amostrais com as maiores temperaturas médias. Em relação ao desvio padrão, houve pouca variação entre os pontos amostrais. Entretanto, o P3 apresentou o menor desvio padrão provavelmente pela verticalização de seu entorno. Com a presença de edificações de grande porte, o calor absorvido durante o dia pelas superfícies fica em parte retido no microclima urbano, devido à um fluxo contínuo de absorção e emissão pelas diversas superfícies das estruturas, diminuindo a dissipação de calor no período noturno. Mesmo motivo pelo qual a amplitude desse ponto é menor em relação às outras, já que com o calor retido, a variação de temperatura será menor. O P2 apresentou a menor temperatura entre os mínimos e máximos devido ao uso do solo, mas também devido à altitude do ponto amostral que é maior que todos os outros, sendo que a FF fria atuante no dia 14/08 ocasionou uma queda geral na temperatura. A maior temperatura mínima entre os pontos foi no P3 e a maior temperatura máxima no P4, dois pontos altamente urbanizados, o que comprova a influência da urbanização na geração de áreas no microclima urbano com características próprias de ilhas de calor. Machado e Azevedo (2006), Assis (2010), Stewart e Oke (2012), Ferreira et al (2017) observaram a mesma correlação.

A diferença entre os dados dos abrigos meteorológicos instalados, P1 e P4, foi esperada e demonstra que em áreas onde existe um sistema fluvial próximo ao seu estado natural, descoberto e com margens vegetadas, potencialmente auxilia no conforto térmico pela atenuação da temperatura. Além disso, pode-se justificar a menor amplitude em P1, uma vez que a presença de água, no ponto representado pelo Ribeirão Arrudas, diminui as variações térmicas durante o dia, pois seu calor específico elevado tende a conservar a temperatura por mais tempo.

No gráfico 2 é possível observar o comportamento da umidade relativa do ar ao longo do tempo amostral. O resumo das principais métricas estatísticas obtidas para os dados de umidade relativa do ar coletados está na tabela 3.

**Gráfico 2.** Evolução temporal da umidade relativa do ar



**Tabela 3:** Análise estatística da umidade relativa do ar nos cinco pontos amostrais

Métrica	P1	P2	P3	P4	P5
Média	59,9	60,5	51,8	56,1	53,1
Desvio padrão	12,5	16,0	12,6	11,8	14,2
Amplitude	51,0	60,0	45,0	44,0	55,0
Mínimo	33,0	28,0	27,0	30,0	23,0
Máximo	84,0	88,0	72,0	74,0	78,0

A umidade do ar pode ser originária de diversas fontes, como as massas de ar atuantes, presença de vegetação e de corpos hídricos. Como a massa de ar que atuou predominantemente durante o experimento de campo foi a mTa, e durante o inverno ela é tipicamente seca, pode-se inferir que as variações obtidas estão mais relacionadas com o ambiente local. A FF poderia ser o sistema atuante que traz instabilidade para a atmosfera através do potencial aumento da nebulosidade. Entretanto, durante o inverno, período que o experimento de campo foi realizado, geralmente a FF passa rapidamente sobre a RMBH impulsionada pela mPa, mas horas depois, a região já se encontra sob um cenário de estabilidade atmosférica novamente.

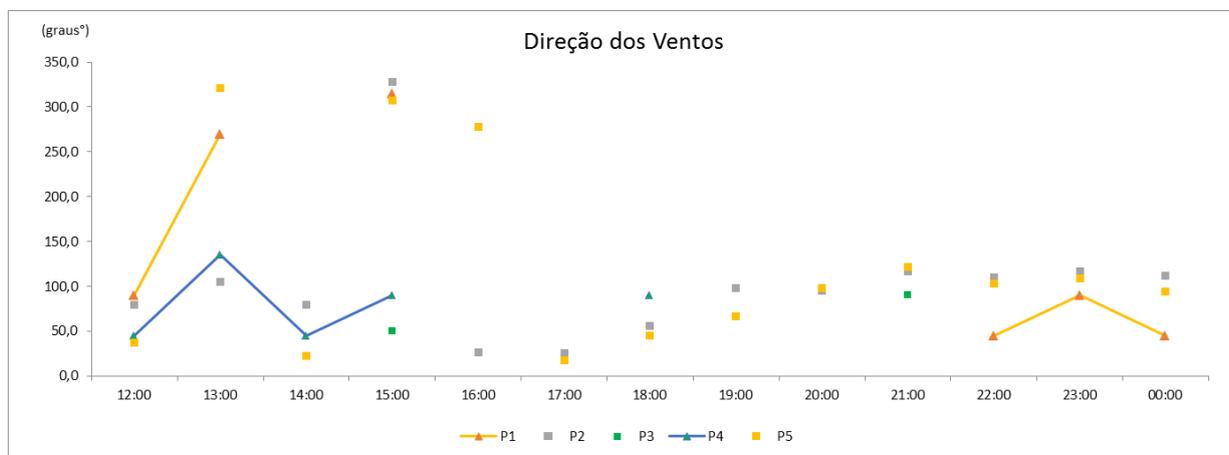
Nos dados obtidos, os valores máximos estão concentrados entre a última hora de cada dia e as primeiras horas do dia seguinte. Já os valores mínimos estão concentrados nas primeiras horas do turno da tarde. As duas maiores médias e valores máximos de umidade relativa

do ar foram em P1 e em P2, em ambos os locais há a presença de corpos hídricos nas proximidades. Próximo ao ponto P1, corre o Ribeirão Arrudas descanalizado e o P2 está localizado em uma área de manancial gerida pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). Em ambos os pontos há uma presença expressiva de cobertura vegetal. Portanto, é possível concluir que a presença de corpos hídricos e vegetação, através da evapotranspiração, auxiliam no aumento da umidade relativa do ar. O P5, apesar de estar em uma Estação Ecológica, apresentou o menor valor de umidade relativa do ar, 23%. Fato que pode ser justificado pelo predomínio de vegetação rasteira no seu entorno. No trabalho de Silva et al. foi observado um comportamento da umidade do ar parecido.

As diferenças de dados entre os abrigos meteorológicos instalados P1 e P4 também foram esperadas e servem como mais uma ferramenta de comprovação de que áreas onde existem sistemas fluviais com características naturais auxiliam no conforto térmico. A presença de uma superfície aquática com vegetação em suas margens aumenta a disponibilidade de umidade no ar, o que interfere nas condições climáticas locais, inclusive na sensação térmica. No entanto, vale ressaltar que em dias quentes a umidade relativa alta, próxima ao nível de saturação, pode gerar uma sensação térmica desconfortável de abafamento, principalmente se não houver ventilação.

A direção e a velocidade dos ventos foram monitoradas apenas durante doze horas, quando o monitoramento foi realizado in loco no dia 09/08. Os dados obtidos de direção do vento nesse período para os cinco pontos amostrais se encontram no gráfico 3. O resumo das principais métricas estatísticas obtidas para os dados de direção do vento coletados está na tabela 4.

**Gráfico 3.** Evolução temporal da direção dos ventos



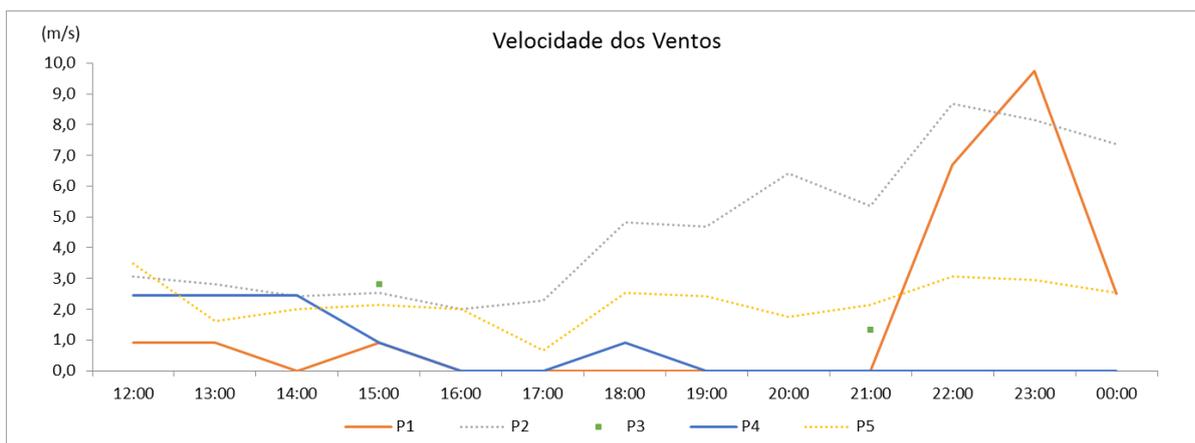
**Tabela 4:** Análise estatística da direção dos ventos nos cinco pontos amostrais

Métrica	P1	P2	P3	P4	P5
Média	81,0	142,5	103,6	124,7	70,0
Desvio padrão	37,6	118,8	74,5	106,8	28,3
Amplitude	90,0	270,0	303,0	303,0	40,0

Tanto a mTa quando a mPa geram ventos com direção preferencial variando no quadrante leste, mais especificamente na direção sudeste e leste. No entanto, pelos dados médios de direção do vento obtidos, foi possível observar também uma tendência de direção dos ventos para sudeste. Pelos valores das amplitudes é possível observar que ocorre uma grande variação de orientação dos ventos entre os pontos nas primeiras horas de monitoramento, diferenças que foram reduzindo com o passar das horas. Vale ressaltar que cerca de 38% dos dados coletados representaram situação de calma e, portanto, não existem dados de direção preferencial.

Já no gráfico 4 é possível observar o comportamento da velocidade dos ventos. O resumo das principais métricas estatísticas obtidas para os dados de velocidade do vento coletados está na tabela 5. Considerando que as medições do abrigo foram realizadas em uma altura aproximada de 2 metros acima da superfície do solo e nas estações meteorológicas em uma altura de 10 metros acima da superfície, foi necessário transformar os dados obtidos para realizar a correlação.

**Gráfico 4.** Evolução temporal da velocidade dos ventos



**Tabela 5.** Análise estatística da velocidade dos ventos nos cinco pontos amostrais

<b>Métrica</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>
Média	1,7	4,7	2,1	0,7	2,3
Desvio padrão	3,1	2,4	1,0	1,0	0,7
Amplitude	9,8	6,7	1,5	2,5	2,8
Mínimo	0,0	2,0	1,3	0,0	0,7
Máximo	9,8	8,7	2,8	2,5	3,5

Durante o período analisado os ventos apresentaram baixa intensidade com média variando de 0,7 m/s a 4,7 m/s, sendo que em dois pontos (P1 e P4) os valores mínimos foram em situações de calmaria. Isso se justifica devido à localização deles em região de vale, próximo ao leito do Ribeirão Arrudas, que são tipicamente regiões com ventos de baixa intensidade. O P2 apresentou os maiores valores, o que pode estar associado à topografia local, já que entre os pontos é o que apresenta maior altitude (1200 metros), e à inexistência de obstáculos artificiais já que se encontra em uma Estação Ecológica. É possível perceber que no período noturno houve uma grande variação de intensidade dos ventos entre os abrigos meteorológicos P1 e P4. Além disso, a média de velocidade do vento no ponto próximo ao ribeirão canalizado foi inferior. Sabe-se que áreas urbanizadas com muitos obstáculos tendem a criar corredores de ventilação preferenciais que reduzem a velocidade do vento. Com isso, há uma diminuição na perda de calor e, conseqüentemente, na transferência de energia por movimentos advectivos (YAP; OKE, 1974; NUNEZ; OKE, 1977). No entanto, em função do recorte temporal da coleta dos dados (12 horas consecutivas), ao contrário do monitoramento dos outros parâmetros que durou uma semana, não foi possível fechar questão sobre o campo anemométrico dos pontos amostrais.

### **Considerações finais**

A forma com que os aglomerados urbanos foram se desenvolvendo ao longo da história da humanidade foi mudando e a relação da sua população com os rios também. De elementos paisagísticos, recreativos e fonte de recursos necessários para a população, passaram a condutos de esgoto e obstáculos para o progresso e desenvolvimento do meio urbano. No entanto, nos últimos anos as cidades e suas populações passaram a sentir os efeitos da falta do planejamento urbano integrado com as redes hidrográficas locais. Aumento da temperatura, redução da umidade do ar e inundações de alto impacto fizeram com que as entidades públicas e a sociedade como um todo repensassem o papel dos sistemas fluviais dentro das cidades.

Belo Horizonte, local onde se realizou o estudo, possui uma extensa rede hidrográfica que se encontra, em sua maioria, altamente modificada e dominada pela poluição devido aos

lançamentos irregulares de esgoto e por descarte de resíduos sólidos. Além disso, a alta impermeabilização, a ausência ou reduzida área de cobertura vegetal e de sistemas fluviais naturais, ou renaturalizados, fazem com que os impactos da urbanização afetem também o conforto térmico da população.

Obras para descanalização podem ser complexas, mas diversos estudos de caso internacionais mostram que é sim possível voltar com os rios para a paisagem urbana e os vários benefícios que isso pode trazer. Benefícios que foram indicados pela análise dos dados meteorológicos coletados dos cinco pontos amostrais, dois abrigos e três estações meteorológicas. Através da análise dos dados de temperatura, umidade do ar, velocidade e direção do vento foi possível perceber as variações que superfícies aquáticas com margens vegetadas podem trazer, e, conseqüente, melhoria dos fatores climáticos nas proximidades. Ressalta-se a importância de realização de novos experimentos, nas demais estações do ano, a fim de verificar esse padrão no campo térmico, hídrico e anemométrico.

No caso do Ribeirão Arrudas, obteve-se para a área descanalizada uma temperatura média cerca de 2°C menor, uma umidade relativa do ar quase 4% maior e ventos mais intensos em relação à área canalizada. Durante o experimento, foi possível também comprovar como os fatores estão interligados, o que reforça a necessidade de abranger nas análises todo o contexto ambiental e climático local para que se possam identificar as correlações.

É importante que o poder público passe a se interessar por conteúdos similares ao desenvolvido neste estudo e os utilize como embasamento para interferências na malha urbana, uma vez que o planejamento integrado viabiliza o aumento da resiliência e da sustentabilidade das cidades brasileiras. Vale ressaltar que o processo de descanalização não pode acontecer sozinho, é necessário também que a qualidade das águas melhore através do fim dos lançamentos irregulares de esgoto e resíduos, e do reaparecimento de um ecossistema aquático. Além disso, é necessário um aumento da consciência ambiental da população que irá conviver e usufruir das margens renaturalizadas, já que o reconhecimento dos rios como bens naturais de alta relevância para o contexto urbano-ambiental-social pode funcionar como uma ferramenta de manutenção de seu estado renaturalizado.

**Referências bibliográficas**

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEKET, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p.711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart.
- ASSIS, W. L. *O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva tempo-espacial*. 2010. 299 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- BORSAGLI, A. *Rios Invisíveis da Metrópole Mineira*. Belo Horizonte: Clube de Autores, 2016. 430 p.
- BORSAGLI, A.; BERNARDES, B. O Ribeirão Arrudas em Belo Horizonte: de elemento integrador e indutor da ocupação urbana para obstáculo no desenvolvimento da urbe mineira. *Cadernos Proarq*, Rio de Janeiro, p.86-102, dez. 2015.
- CAJAZEIRO, J. M. D. *Análise da susceptibilidade à formação de inundações nas bacias e áreas de contribuição do Ribeirão Arrudas e Córrego da Onça em termos de índices morfométricos e impermeabilização*. 2012. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- CBH VELHAS. *Plano Diretor de Recursos Hídricos: Unidade Territorial Estratégica Ribeirão Arrudas*. Belo Horizonte, 2016. 12 p.
- CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) - Serviço Geológico do Brasil. 2004. Disponível em: < <http://siga.cbhvelhas.org.br/portal/sigaweb.zul>>. Acesso em: 12 out. 2019.
- FERREIRA, D. G.; ASSIS, E. S.; KATZSCHNER, L. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. urbe. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 9, n. suppl 1, p. 255–270, out. 2017.
- GARTLAND, L. *Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 248 p.
- HEIJS, Jan; YOUNG, Damian. *Bringing Light to the Water: stream daylighting in the Auckland region and beyond*. In: WATER NEW ZEALAND STORMWATER CONFERENCE, 2012.
- MACHADO, A. J.; AZEVEDO, T. R. Parametrização da emissão termoradiativa aplicada à análise do conforto urbano. *GEOUSP – Espaço e Tempo*, São Paulo, n.19, p.179-198. 2006.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 206 p.
- MONTEIRO, C. A. F. *Análise rítmica em climatologia; problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho*. São Paulo, Série Climatologia Dinâmica I, USP-IG, 1971, 21p.
- NUNEZ, M; OKE, T. R. The energy balance of an urban canyon. *Applied Meteorology*, v.16, p.11-19. Jan. 1977.

OLIVEIRA, M. T. de. *Estudo de movimentos de massa gravitacionais no município de Belo Horizonte, MG*. 2009. 279 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale and field observations. *Journal of Climatology*, v.1, p.237-254, 1981.

PBH. *Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte 2016/2019*. Belo Horizonte, 2016.358 p.

SEZERINO, M. L.; MONTEIRO, C. A. F. *O campo térmico da cidade de Florianópolis; primeiros experimentos*. *GEOSUL*, Florianópolis, v.5, n.9, p.20-60. 1990.

SILVA, A. J.; NASCIMENTO, C. R. C.; SILVA, L. F.; LUCAS, T. P. B. Análise topoclimática em unidade de conservação urbana a partir da temperatura e umidade relativa do ar. *E-SCIENTIA*, v. 4, p. 2, 2011.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 93, n. 12, p. 1879–1900, 2012.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. *The water balance*. Publication in Climatology, Laboratory of Climatology, Centerton, v. 8, n.1. 1955.

YAP, D; OKE, T. R. Sensible heat fluxes over an urban area: Vancouver, B.C. *Journal of Applied Meteorology*, v.13, p.880-890, dez. 1974.