

ESCOAMENTO SUPERFICIAL COMO CONDICIONANTE DE INUNDAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO VILARINHO – BELO HORIZONTE - MG

Erika Ferreira da Silva¹
Max Paulo Rocha Pereira²
Vinícius Minelli Moreira³
Ricardo Alexandrino Garcia⁴

Recursos Hídricos e Qualidade da Água

Resumo

O processo de ocupação dos grandes centros urbanos brasileiros trouxe elevada impermeabilização do solo, desencadeando diversos danos relacionados a ocupação de encostas e leitos de inundação de cursos d'água. Desde a década de 1970, Belo Horizonte apresenta registros de grandes inundações e somente na Bacia Hidrográfica do Córrego Vilarinho, localizada na regional Venda Nova do município, foram registradas 20 ocorrências em duas décadas. Esse trabalho apresenta uma proposta que avalia o escoamento superficial como condicionante de inundações na bacia hidrográfica do Vilarinho através de uma Análise Multicritério. Diversos são os fatores que condicionam um processo de inundação, contudo a impermeabilização do solo, aliada a declividade, a curvatura e a geologia da bacia hidrográfica são variáveis que foram aplicadas no método de avaliação da susceptibilidade a formação de enxurradas, que estão relacionadas com o escoamento superficial, sobretudo em ambiente urbano. Os resultados encontrados apresentam tanto áreas com menor incidência de enxurradas, vinculadas principalmente a áreas permeáveis e com menor declividade e curvatura plana na bacia, quanto com maior susceptibilidade a formação de enxurradas, que elevam o escoamento superficial devido a impermeabilização do solo, a concavidade da bacia e a maior declividade relevo. As áreas com alta susceptibilidade estão associadas com as áreas de risco de inundação mapeadas pelo poder público. Dessa forma, ao avaliar conjuntamente a susceptibilidade a formação de enxurradas com as áreas inundáveis, é possível planejar ações e obras públicas tratando as causas do problema no contexto da bacia hidrográfica e não apenas o impacto gerado.

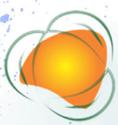
Palavras-chave: Formação de enxurradas; Impermeabilização; Declividade; Curvatura; Análise Multicritério.

¹Ma. Pesquisadora associada ao Laboratório de Estudos Territoriais (LESTE), UFMG – Departamento de Geografia, erikafesilva@hotmail.com.

²Doutorando em Geografia. Laboratório de Estudos Territoriais, (LESTE), UFMG – Departamento de Geografia, mqualidadeambiental@gmail.com..

³Graduando em geografia. Laboratório de Estudos Territoriais (LESTE), UFMG – Departamento de Geografia, viniciusminellimoreira@gmail.com.

⁴Professor Associado ao departamento de Geografia da UFMG, Coordenador do Laboratório de Estudos Territoriais (LESTE), lexandrinogarcia@gmail.com.



INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico dos grandes centros urbanos, passou a transformar o espaço urbano principalmente a partir da década de 1950 e mais intensamente na década de 70. O processo de ocupação destes espaços, a distribuição das terras e o desenvolvimento das cidades brasileiras se deu de forma fragmentada e desigual. As áreas de maior vulnerabilidade ambiental geralmente estão associadas a ocupação para habitação das camadas mais populares da sociedade, destacando-se as áreas de encosta e os leitos de inundação de cursos d'água (BONATTI, 2011; LUCAS *et. al.* 2015).

Ainda que as enchentes e inundações advém de processos naturais, estas podem ser potencializadas, por exemplo, pelo processo de urbanização. Essa intervenção, que tem como um dos seus principais elementos a impermeabilização do solo, favorece o escoamento superficial, diminui a infiltração e a capacidade de recarga de aquíferos subterrâneos, aumentando o transporte de materiais e sedimentos poluentes para os cursos d'água, que destroem infraestruturas e impactam diretamente a vida das populações. Dessa forma, danos materiais públicos e privados, sanitários e perda de vidas são consequências, causando danos socioambientais severos, expondo o déficit governamental relacionado ao planejamento e de obras de infraestrutura (BONATTI, 2011; LUCAS *et. al.* 2015).

Atendendo as teorias higienistas da década de 50 em diante, Belo Horizonte foi projetada para suprimir os cursos d'água da paisagem urbana, tendo ao longo do tempo, grande parte destes canalizados. Na época acreditava-se que a intervenção colocaria fim na proliferação de doenças e diminuiria as inundações (LUCAS *et. al.* 2015). Essa modificação da paisagem favoreceu a abertura de vias impostas sobre vales, morros e cursos d'água e desde então, diversos registros de grandes enchentes na capital mineira foram registrados como pode ser observado na Figura 01.

Realização



Apoio



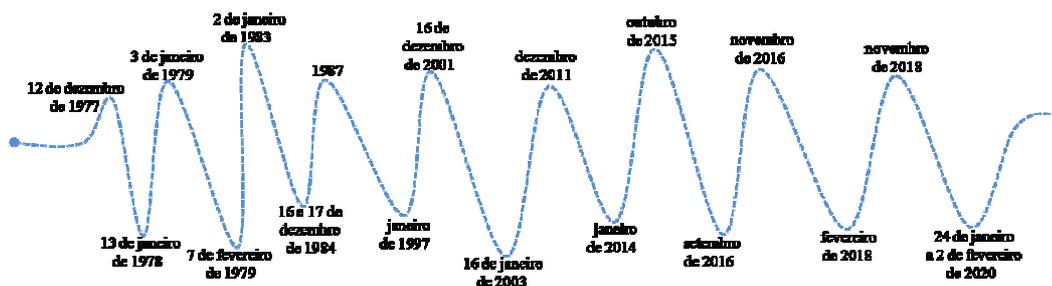


Figura 01: Linha do tempo com registros de grandes inundações em Belo Horizonte.

Fonte: Jornal Estado de Minas (2012); Lucas *et al.* (2015); SCBH Onça (2019) e G1 (2020).

Cabe destacar que o projeto original urbano de Belo Horizonte envolvia a cidade delimitada pela Avenida do Contorno, estimando uma população de 200 mil habitantes. Entretanto, atualmente, a população estimada é de mais de 2 milhões e meio de pessoas ocupando agora a extensa área da metrópole (LUCAS *et al.* 2015; IBGE, 2021).

Indicadores demográficos da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH) informam que somente a regional Venda Nova possui 265.179 habitantes em 2021 (BELO HORIZONTE, 2021). O território é densamente povoado e sofre recorrentemente com pontos de inundação, consequência de déficits do sistema de drenagem e de um planejamento urbano ineficiente, especialmente na região limítrofe ao córrego Vilarinho, onde se encontram várias avenidas importantes da capital, como a Pedro I, Cristiano Machado e Vilarinho. Assim como no restante do município, essa regional sofre com problemas causados pela impermeabilização do solo e canalização dos córregos. Os córregos Vilarinho e Nado, que confluem na Avenida Vilarinho, foram notícia ao longo de décadas de diversos episódios de natureza hídrica, em que somente na Bacia do Vilarinho foram registradas 20 inundações entre 1980 e 2000 (BONATTI, 2011; CBH RIO DAS VELHAS, 2018; UFMG, 2019).

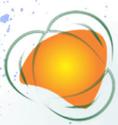
Mesmo que dados oficiais trazem a totalidade do tratamento do esgoto sanitário do município, o despejo desses resíduos se mantém em cursos d'água, agregado as demais alterações do espaço pela urbanização como a retirada da cobertura vegetal, a impermeabilização do solo e a canalização e retificação excessiva dos canais fluviais. Esses fatores potencializam os problemas, por agravar o desencadeamento de enchentes e inundações em áreas habitadas e favorecem o surgimento de doenças de veiculação

Realização



Apoio





hídrica (CBH RIO DAS VELHAS, 2018).

Diante do exposto, a área de estudo foi selecionada considerando o histórico de enchentes e inundações na Avenida Vilarinho e regiões que a compõe, sendo delimitada, portanto, a Bacia Hidrográfica do Córrego Vilarinho para o desenvolvimento da proposta afim de avaliar o escoamento superficial como condicionante de inundações na bacia.

METODOLOGIA

A Bacia Hidrográfica do Córrego Vilarinho (BHCV) está inserida na regional Venda Nova do município de Belo Horizonte/MG (Figura 02). Ocupa uma área de aproximadamente 15,83 km². Dentre os cursos d'água que integram a bacia tem-se os córregos do Capão, Piratininga, Baleares, Pereira, Lagoinha, Brejo do Quaresma, Joaquim Nogueira, Bezerra, Candelária e o principal que dá nome a bacia, o Córrego Vilarinho. O comprimento do Córrego Vilarinho é de pouco mais de 5.700 metros. A bacia pertence imediatamente a Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Isidoro, seguida pela Bacia Hidrográfica do Ribeirão Onça e subseqüente Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas.

Os materiais utilizados estão em formato *shapefile* e correspondem a fontes de informação geográfica disponibilizados gratuitamente conforme Tabela 01.

Realização



Apoio



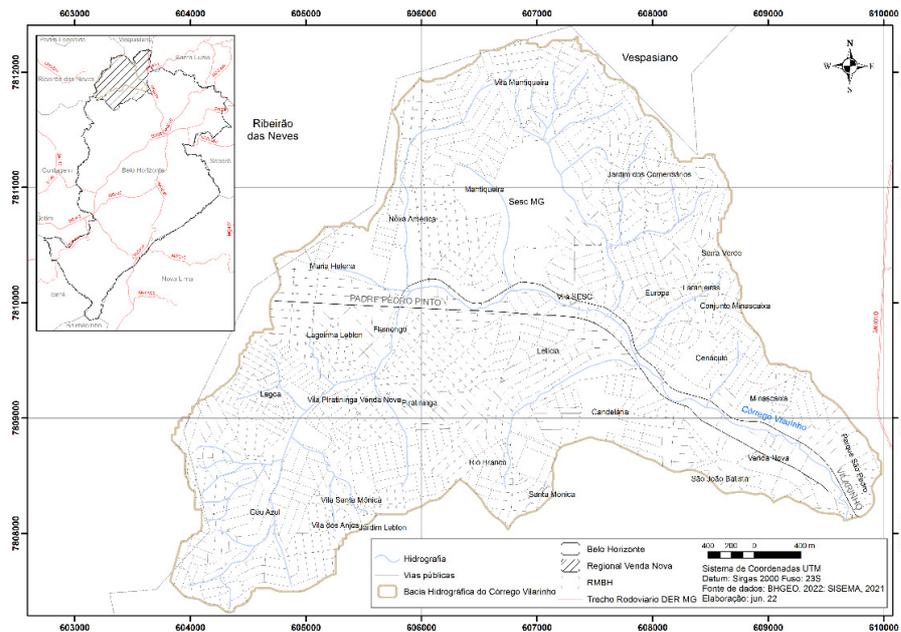


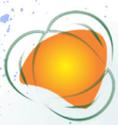
Figura 02: Localização da área de estudo na regional Venda Nova em Belo Horizonte, contendo as vias públicas principais e bairros referenciados.

Tabela 01: Síntese de materiais cartográficos utilizados, ano e fonte

Material cartográfico	Ano	Fonte
Curva de nível 5 metros	2007	
Área de risco de inundação	2017	
Tipologia de Uso e Ocupação por Lote 2020	2021	
Brejos		(BELO HORIZONTE 2022)
Parques Municipais		
Praças	2022	
Trecho logradouro		
Unidade de Conservação Ambiental		
Bacia Hidrográfica Ottocodificada		
Hidrografia Ottocodificada	2021	(SISEMA 2021)
Mapa Geológico		

Elaborado pelos autores.

Considerando a metodologia apresentada por Reis (2011), a avaliação do escoamento superficial da BHCV como condicionante de inundação ocorreu por meio do



método booleano de Análise Multicritério a partir do cruzamento das variáveis Declividade, Curvatura e Uso e Ocupação do Solo. Os mapas temáticos receberam pesos iguais (33,3%) e notas que variaram de 0 a 10 conforme a capacidade de cada classe dos temas em contribuir, mais ou menos, para o escoamento superficial. Dessa forma, quanto maior a nota atribuída, maior a contribuição.

A manipulação de dados, a produção de resultados e de mapas foi realizada no *ArcGis*, extensão 10.8. A declividade foi obtida a partir da base de curva de nível utilizando as ferramentas *Create Tin* e posteriormente *Slope*. De posse dessa informação *raster*, foi obtida a curvatura da bacia utilizando a ferramenta *Curvature*, função *Profile*. Através da reclassificação, para a curvatura côncava, adotou-se os valores negativos, para a retilínea os valores próximos a zero e para a curvatura convexa os valores positivos.

Enquanto as áreas permeáveis da bacia foram identificadas a partir do agrupamento das áreas de lotes vagos, praças, parques municipais, unidades de conservação ambiental, brejos, parques e clubes privados obtidos na base de dados de Belo Horizonte (2022), além de outras áreas identificadas na bacia ausentes de impermeabilização. Considerou-se áreas impermeáveis as áreas urbanizadas, que representam majoritariamente a área da bacia. As características de permeabilidade da formação geológica assessoraram na atribuição da nota da classe das áreas permeáveis de uso do solo. Dessa forma, o valor atribuído corresponde as áreas permeáveis da bacia com maior capacidade de infiltração e menos impermeáveis quando comparadas com as demais geologias. A geologia da BHCV está inserida no Complexo Belo Horizonte e litologia Gnaisse, o que traz para as áreas permeáveis a nota 3, conforme Reis (2011). A Tabela 02 traz o resumo das notas atribuídas para cada classe das variáveis utilizadas que estão apresentadas na Figura 03.

Realização



Apoio





Tabela 02: Variáveis utilizadas, classes e notas atribuídas a cada classe

Variável	Classe	Nota
Declividade	0 a 5%	2
	5 a 10 %	4
	10 a 30%	6
	30 a 47%	8
	> 47%	10
Curvatura	Convexo	1
	Plano	6
	Côncavo	10
Uso e ocupação do solo	Áreas permeáveis	3
	Áreas impermeáveis	10

Elaborado pelos autores. Fonte: Dados da pesquisa, adaptado de Reis (2011).

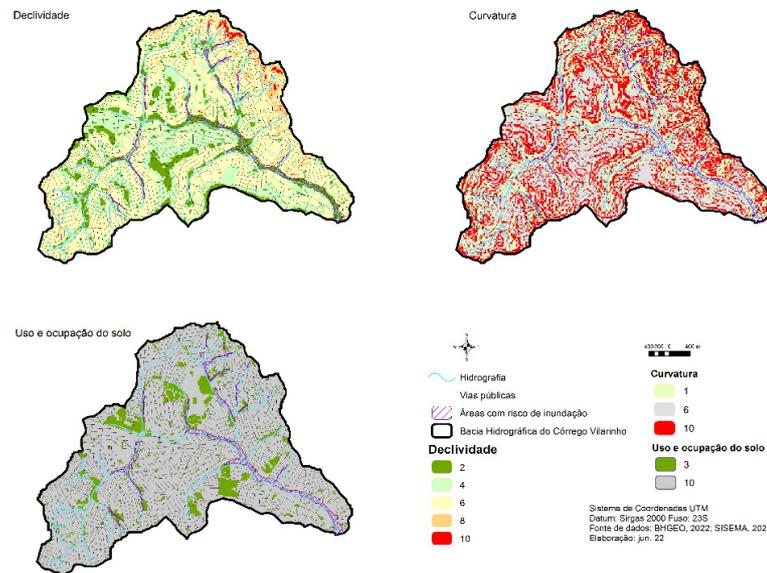


Figura 03: Variáveis utilizadas na análise multicritério, contendo as notas atribuídas a cada classe.

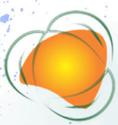
O resultado da Análise Multicritério contém o mapa de susceptibilidade à formação de enxurradas reclassificado em 4 classes. O *shapefile* contendo as áreas com

Realização



Apoio





risco de inundação de Belo Horizonte que contempla a BHCV foi utilizado para auxiliar nas discussões, podendo associá-las as áreas com maior susceptibilidade a formação de enxurradas. Da mesma forma, os trechos de logradouros, que correspondem as vias públicas também foram utilizados para avaliar a relação destas com a distribuição da curvatura das superfícies, levando em conta o sentido dos arruamentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As áreas mais susceptíveis à formação de enxurradas podem ser visualizadas na Figura 04 e estão localizadas em regiões com curvatura côncava e coincidentes com áreas de declividades mais acentuadas como destacado por Mikosik, Paula e Santos (2010), em que as vertentes côncavas favorecem a convergência dos fluxos d'água. A análise em conjunto utilizando o mapa contendo áreas permeáveis e impermeáveis fortalece a interpretação, considerando que a bacia é altamente urbanizada, em que mais de 14 km² foram classificados como superfície impermeabilizada, representando aproximadamente 90% da área total da bacia, sendo que a impermeabilização do solo provoca o aumento do escoamento superficial e consequentemente a formação de enxurradas.

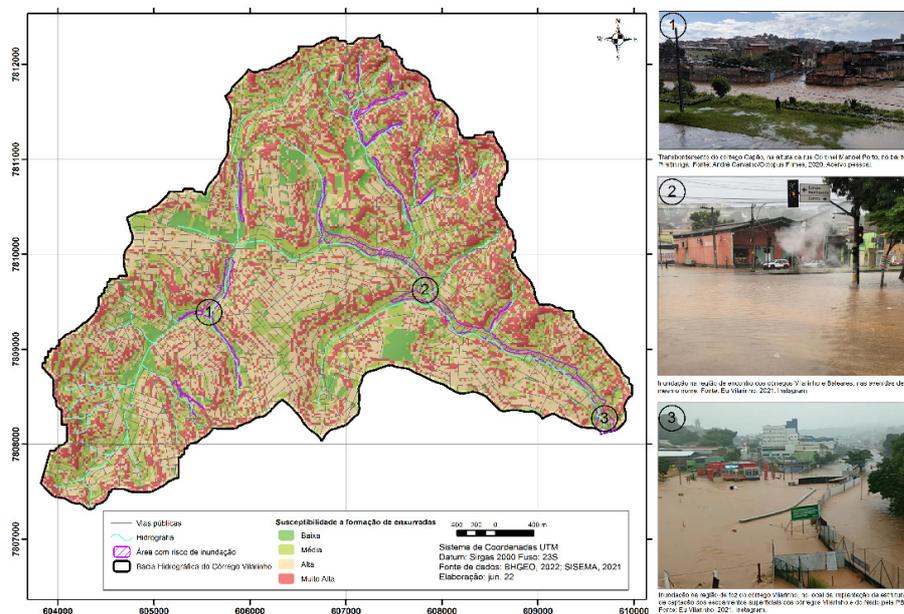


Figura 04: Mapa de susceptibilidade a formação de enxurradas na BHCV.

Realização



Apoio





Os três pontos destacados na figura 04 apresentam três áreas que ocorreram inundações e todos são pontos coincidentes com áreas de risco para tais episódios, segundo dados de Belo Horizonte (2022). São localidades que apresentam menor susceptibilidade a formação de enxurradas por estarem nas partes mais baixas e planas da paisagem, entretanto, no entorno imediato, existem várias áreas com muito alta susceptibilidade para a formação das enxurradas que acabam direcionando o fluxo de água e provocando as inundações.

O ponto 1, que corresponde a um trecho do córrego Capão, recebe contribuições dos afluentes e das enxurradas da porção sudoeste da bacia hidrográfica. Nesse trecho, existem pontos de Muito Alta susceptibilidade a formação de enxurradas, direcionando o fluxo hídrico para a calha do córrego, que tem sua foz junto ao córrego Vilarinho. O ponto 2 é um ponto de encontro dos córregos Baleares e Vilarinho, que recebe contribuições da maior parte da BHCV, exceto da porção sudeste. Trata-se de um ponto de alto risco, por receber enxurradas das regiões norte à leste da bacia, que concentram áreas de Muito Alta susceptibilidade a formação de enxurradas. O ponto 3 é a resultante do comportamento de toda a BHCV por estar localizado na foz do córrego Vilarinho. Esse trecho historicamente tem episódios de enchentes com elevada perda material, além de perda de vidas. Recentemente esse ponto recebeu uma obra de implantação da estrutura de captação dos escoamentos superficiais pela PBH, em que Figura 04 traz uma enchente ocorrida durante o período de obras. A proposta da estrutura é realizar a drenagem do excesso de chuva, reduzindo o tempo de permanência da água no asfalto e o risco de enchentes na região. Cabe destacar que após a conclusão da obra em 2022, a estrutura de captação comportou pontualmente o fluxo hídrico de período de chuvas, no entanto, o monitoramento deve ser feito para que a estrutura seja eficiente a longo prazo, considerando chuvas historicamente relatadas no município.

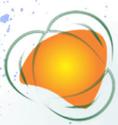
A altimetria da BHCV varia entre 750 e 940 metros, apresentando um desnivelamento altimétrico de 190 metros. De acordo com Silva e Jardim (2017), que avaliaram um episódio de chuva concentrada em 2016 em Belo Horizonte, as regionais Venda Nova, Norte e Nordeste do município estão localizadas na bacia hidrográfica do Ribeirão Onça, em áreas de convergência de córregos e com menores cotas de altimetria

Realização



Apoio





do município. Dessa forma, promovem maior susceptibilidade a enchentes nessas regiões, acatando as informações das cartas de inundação elaboradas pela Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP), que apresentam dados georreferenciados de áreas de risco de inundação em Belo Horizonte. Desde 2009, quando foi lançada a primeira carta de inundações, a região do córrego Vilarinho é vista como uma armadilha por conter manchas de inundações em grande parte da avenida de mesmo nome. Com a saturação da galeria subterrânea que comporta o córrego, as áreas inundáveis recebem todo o excedente hídrico da bacia hidrográfica.

É necessário tratar as inundações de forma sistêmica e integrada, considerando toda a bacia hidrográfica, avaliando todas as obras de infraestrutura que já foram executadas, sua eficácia, necessidade de manutenção ou mudanças no projeto. A exemplo da bacia hidrográfica do córrego do Vilarinho, devem ser feitas manutenções nas bacias de detenção de cheias existentes e outros sistemas implantados na ocasião do DRENURBS⁵ tais como desassoreamento, captação de esgoto e a realização de plantios. Também deve ser avaliada a introdução de outros mecanismos para diminuir a velocidade de escoamento superficial, tais como o aumento do diâmetro de manilhas, a introdução de sistemas filtrantes em espaços públicos e privados, a recomposição de matas ciliares em cursos d'água em leito natural, a manutenção de áreas verdes, parques públicos e privados e a viabilidade de abertura de canais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapa final resultante da uma Análise Multicritério permitiu a visualização de áreas com maior susceptibilidade a formação de enxurradas, que têm o fluxo hídrico das chuvas transportado, alcançando os córregos da bacia, principalmente para as regiões com risco de inundação mapeados pelo poder público. Três desses pontos críticos de inundação foram apresentados, considerando o elevado potencial de formação de

⁵ *A concepção do Programa DRENURBS visou o tratamento dos problemas sanitários e ambientais no nível de bacia hidrográfica. As premissas buscavam aumentar a permeabilidade do solo, diminuir riscos de inundações implantando parques e áreas de preservação ao longo de cursos d'água, tratando-os de forma integrada na paisagem urbana, envolvendo as comunidades nas decisões, na recuperação, conservação e conscientização, estimulando a valorização dos recursos hídricos (ABCP, 2013).*



enxurradas do entorno, reforçando que o escoamento superficial é uma condicionante significativa na avaliação de inundações na BHCV. Tanto os pontos destacados quanto os demais estão localizados em regiões contíguas a cursos d'água, muitas vezes acompanhando o sentido dos arruamentos pavimentados, elevando a velocidade de escoamento da água da chuva para os leitos dos córregos que naturalmente não suportam o volume de água recebido em um curto espaço de tempo.

A utilização de modelos como o que aqui apresentado podem orientar o planejamento das ações e obras públicas, uma vez que, considera o problema a partir da formação do fluxo com a identificação das áreas mais suscetíveis a formação da enxurrada. Dessa forma, pode orientar ações de gestão territorial desde o início do processo de escoamento e não apenas aquelas adotadas na recepção do volume escoado como as tecnologias fim de tubo comumente utilizadas.

REFERÊNCIAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland Programa Soluções para Cidades. **Programa DRENURBS**. Uma concepção inovadora dos recursos hídricos no meio urbano Belo Horizonte – MG. 2013. 14 p. Disponível em: <https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/09/AF_DRENNURBS_WEB.pdf> Acesso em: 15 maio 2022.

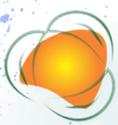
BELO HORIZONTE. Prefeitura de Belo Horizonte. Bhgeo Pbh. **Banco de dados espaciais**. 2022. BHGEO PBH. Disponível em: <http://geonetwork.pbh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home..> Acesso em: 04 maio 2022.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. **Estatísticas e Indicadores**. 2021. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/estatisticas-e-indicadores>. Acesso em: 04 maio 2022.

BONATTI, R. A. **Desenvolvimento de modelo para a gestão de sistemas de trânsito em situações de contingência de inundações**. 2011. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CBH RIO DAS VELHAS. **Catálogo de nascentes urbanas da bacia hidrográfica do Ribeirão Onça**. Projeto Hidroambiental “Elaboração de Diagnóstico de Nascentes Urbanas na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Onça, em Belo Horizonte/MG”. 24 p. out. 2018.

G1 (Belo Horizonte). **Chuva destrói parte de BH; MG tem 55 mortos em 6 dias**. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2020/01/29/apos-mais-um-temporal-com-enchentes-bh-e-regiao-metropolitana-contabilizam-mais-estragos.ghtml>. Acesso em: 04 maio 2022.



em: 15 maio 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População estimada:** IBGE, diretoria de pesquisas, coordenação de população e indicadores sociais, estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2021. 2021. Disponível em:

<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama>> Acesso em: 15 maio 2022.

JORNAL ESTADO DE MINAS. **A BH das 200 enchentes.** 2012. Disponível em:

<https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2012/01/07/interna_gerais,271132/a-bh-das-200-enchentes.shtml> Acesso em: 15 maio 2022.

LUCAS, T. P. B.; AUGUSTO, P.; REIS, S.; ROCHA, S. C. IMPACTOS HIDROMETEÓRICOS EM BELO HORIZONTE-MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.L.], v. 16, n. 11, p. 7-28, 30 jun. 2015. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v16i0.37051>.

MIKOSIK, A. P. M.; PAULA, E. V.; SANTOS, L. J. C. Influência da curvatura das vertentes na ocorrência de escorregamentos translacionais na sub-bacia do Rio Sagrado (Morretes/PR).

Anais... VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia, Recife, PE, 2010. 12 p.

REIS, P. E. **O escoamento superficial como condicionante de inundação em Belo Horizonte, MG:** estudo de caso da sub-bacia córrego do Leitão, bacia do ribeirão Arrudas. 2011. 134 f. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SCBH ONÇA (Belo Horizonte). Subcomitê de Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Onça. **Estudo de caso:** pontos de alagamento na avenida Vilarinho BH/MG. Belo Horizonte, 2019. Color. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/comcbhvelhas/estudo-de-caso-fev2019>. Acesso em: 15 maio 2022.

SILVA, J. L. M.; JARDIM, C. H. O episódio de chuva concentrada do dia 17 de janeiro de 2016 em Belo Horizonte (MG). **Anais...** XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. I Congresso Nacional de Geografia Física. Instituto de Geociências Unicamp. Campinas, SP. 2017.

SISEMA. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.** Belo Horizonte: IDE-Sisema, 2021. Disponível em:

<idesisema.meioambiente.mg.gov.br> Acesso em: 04 maio 2022.

UFMG. Universidade Federal de Minas Gerais. **Revista Manuelzão.** Saúde, Ambiente e Cidadania na Bacia do Rio das Velhas. nº. 86. 24 p. dez. 2019.

Realização



Apoio

