

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE DIFERENTES PADRÕES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO RESIDENCIAIS NO DISTRITO FEDERAL NO MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Letícia Karine Sanches Brito¹, Maria Elisa Leite Costa² & Sergio Koide³

RESUMO – O processo de urbanização gera diversos impactos no ciclo hidrológico, que são agravados devido a compactação dos solos durante a instalação e construção de novos loteamentos. Para entendimento da dinâmica de ocupação dos espaços urbanos é necessário um mapeamento do uso e ocupação do solo específico, que leve em consideração a morfologia dos espaços urbanos, denominado Urban Structure Types – USTs. Esse tipo de classificação dos padrões de ocupação a partir do arranjo, auxilia na qualificação da resiliência dos espaços urbanos. O manejo de águas pluviais tem papel fundamental no controle dos impactos causados pela urbanização, porém ainda se utilizam técnicas convencionais no sistema de drenagem, que não priorizam a infiltração e retenção. A proposta do artigo foi a simulação do impacto da instalação de novas áreas urbanas no solo, simulando a compactação do solo através da mudança do grupo hidrológico de solos do solo original, e a utilização de técnicas compensatórias, tendo em vista a necessidade de um sistema de drenagem sustentável, com o objetivo de atingir as condições de pré-desenvolvimento da bacia. Verificou-se que a compactação do solo pode causar forte impacto na vazão dos sistemas de drenagem e que a utilização de técnicas compensatórias pode auxiliar a redução desses impactos.

ABSTRACT– The urbanization process generates several impacts in the hydrological cycle, which are aggravated due to soil compaction during the installation and construction of new allotment areas. Urban planning demands detailed data about the built environment. Traditional land use maps delineate the territory in generalized categories. Mapping analyzing the urban fabric details is called Urban Structure Types - USTs. This type of classification helps in the qualification of the resilience of urban spaces. Rainwater management plays a key role in controlling the impacts caused by urbanization, but conventional techniques still used in the drainage systems, which do not prioritize infiltration and retention. The proposal of the article was the simulation of the impact of the installation of new urban areas on the soil, simulating the soil compaction by changing the hydrological group of soils of the original soil, and the use of compensatory techniques, considering the needs for sustainable drainage systems, with the objective of reaching the pre-development conditions. The results showed that soil compaction can strongly impact the flow rate of drainage systems and that the use of compensatory techniques can help reduce these impacts.

Palavras-Chave – Urban Structure Types - UST, Drenagem Urbana, SWMM.

1) Mestranda do Programa de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, PTARH, Universidade de Brasília, UnB - Brasília, DF, Prédio SG-12, 70297-400, (61) 99848-8226, sanchesbrito.leticia@gmail.com.

2) Doutoranda do Programa de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, PTARH, Universidade de Brasília, UnB - Brasília, DF, Prédio SG-12, 70297-400, (61) 98175-2765, mariaelisa@unb.br.

3) Professor do Programa de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, PTARH, Universidade de Brasília, UnB - Brasília, DF, Prédio SG-12, 70297-400, (61) 98151-9911, skoide@unb.br

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização vem ocorrendo de maneira complexa e rápida. Do século XX para o século XXI, mais da metade da população mundial migrou para as cidades (Fragkias & Seto, 2009). Na década de 50 o Brasil já contava com um avançado nível de urbanização, contando com mais de 40% da população residindo em cidades, atualmente este índice passa de 80%. O fluxo migratório se direcionou principalmente para cidades de médio e grande porte (Baeninger, 2010).

Para um melhor entendimento da dinâmica dos espaços urbanos há a necessidade de um mapeamento de uso do solo mais específico que o convencional. Os mapas de uso e ocupação do solo convencionais delimitam o território de maneira generalizada, classificando-o em rural ou urbano (residencial, industrial, áreas públicas), ou caracterizando-o de acordo com a cobertura vegetal (Castro, 2017; Moon *et al.*, 2009; Hofmeister, 2004). O mapeamento a partir da morfologia urbana, buscando analisar a disposição dos elementos que compõem a cidade é denominado *Urban Structure Type* (UST). A UST pode ser definida como áreas fisionomicamente homogêneas, com arranjos característicos entre edificações e espaços abertos, avaliando a densidade, estrutura e material construtivo dos imóveis, quantidade de áreas verdes e grau de impermeabilização do solo (Wickop, 1998).

Os estudos com *Urban Structure Types* (USTs), têm se mostrado eficientes, pois identificam o uso do solo de maneira mais específica em nível de vizinhança, e também pelo fato de áreas urbanas em seu desenvolvimento seguirem um mesmo padrão construtivo, dependendo das características socioeconômicas e ambientais dos locais.

A abertura de novos loteamentos requer o uso de maquinário pesado e realocação de materiais de construção civil, durante o processo de instalação, o que pode afetar a estrutura original do solo reduzindo a capacidade de infiltração natural do solo pela compactação e diminuição da porosidade do solo através da deterioração da continuidade da estrutura dos macroporos (Alaoui *et al.*, 2018), o que ocorre principalmente em solos argilosos estruturados, como os latossolos da região. Esse processo afeta diretamente o ciclo hidrológico devido ao aumento do grau de impermeabilização da superfície, intensificando a geração de escoamento superficial e diminuindo a capacidade de recarga das águas subterrâneas, afetando diretamente o escoamento de base.

Aliado a esse crescente processo de urbanização, vem a necessidade da construção e ampliação da infraestrutura, em especial dos sistemas de manejo de águas pluviais. No projeto convencional de drenagem higienista, o princípio básico é o do afastamento das águas, com isto aumentando os picos das cheias devido à canalização das águas, deteriorando os ecossistemas a jusante devido à quantidade de poluentes e resíduos sólidos carregados pelo escoamento superficial e

também às grandes vazões que chegam aos pontos de descarga, ocasionando erosão das margens dos corpos receptores.

Nesse cenário, a abordagem sustentável de projetos de manejo de águas pluviais visa a controlar o escoamento e a poluição difusa em sua fonte utilizando dispositivos de infiltração, detenção e retenção, diminuindo os impactos ambientais a jusante e propiciando a recarga das águas subterrâneas.

Para implantação de novos empreendimentos e expansão de áreas urbanas se deve buscar, dentro da legislação de ordenamento territorial, quais os melhores padrões de ocupação do solo, que, mantendo a ocupação populacional prevista para a área, minimizem os impactos ambientais causados pela urbanização, de maneira a aproveitar as características do meio, como tipo de solo, declividade, geomorfologia, e identificar as práticas mais eficientes de manejo de águas pluviais, com o objetivo de preservar os recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

A proposta deste trabalho é a aplicação das UST's residenciais do tipo RM (Residencial Misto de casas e apartamentos) e RB1 (Residencial de apartamentos até 6 pavimentos de média densidade) variando as características locais, simulando o efeito da urbanização na capacidade de infiltração do solo, tendo como hipótese de que no Latossolo, a movimentação de veículos pesados (e mesmo de veículos leves com uma certa frequência) pode provocar a compactação do solo transformando a estrutura porosa superficial em argila densa e impermeável. Para simular esse processo de compactação, foi considerado que o solo original que tem o comportamento do grupo hidrológico de solos do tipo A sofreu deterioração da sua estrutura diminuindo sua permeabilidade fazendo com que se enquadre nos grupos B ou C.

Desse modo, foi possível verificar qual o efeito dos padrões de urbanização sobre o manejo de águas pluviais utilizando o modelo SWMM, tanto para abordagem convencional quanto utilizando as técnicas compensatórias, com o auxílio de cenários para avaliar medidas para reduzir o escoamento superficial e maximizar a infiltração. Por fim, foi considerado que no processo de instalação das técnicas compensatórias, o solo retorna à sua estrutura original, e nessas estruturas voltam a funcionar com permeabilidade equivalente ao solo A, devido a retirada do solo compactado e a colocação de vegetação para manter a estrutura original de macroporos do solo.

METODOLOGIA

O Distrito Federal, localizado no Centro-Oeste Brasileiro, possui área territorial de 5.779,997 km², população estimada de 2.974.703 habitantes e densidade populacional de 444,60 hab/km² (IBGE,2017). O clima é caracterizado por uma sazonalidade com dois períodos distintos, seco de maio a setembro com baixas taxas de precipitação, baixa nebulosidade, alta taxa de evaporação e

baixas umidades relativas do ar, e o período chuvoso entre outubro e abril. A precipitação média anual varia entre 1.200 a 1.700 mm (Fonseca *et al.*, 2001).

O DF conta com dois tipos predominantes de solos, o Latossolo ocupando 54,5% da área total do território, e o Cambissolo, ocupando 30,98%. O Latossolo possui baixo teor de silte (entre 10 e 20%) e alto teor de argila (até 85%). Apesar do alto teor de argila, o Latossolo apresenta um comportamento hídrico diferenciado com alta permeabilidade devido a característica de sua estrutura, enquadrando-se no grupo hidrológico A de solos da USGS. O Cambissolo apresenta baixa permeabilidade e estão geralmente associados a relevos acidentados ou ondulados, apresentam textura variada, desde muito argilosa até franco-arenosa, com cascalho ou sem cascalho. Devido às suas características os cambissolos em geral se enquadram no grupo hidrológico C de solos da USGS, (Reatto *et al.*, 2004; Carvalho *et al.*, 2012; Lima *et al.*, 2013).

Castro (2017) classificou 25 UST's para o Distrito Federal, utilizando cinco classes principais, 12 subclasses. As classes principais são divididas em áreas residenciais, comerciais e industriais, públicas, abertas e em transição.

Este estudo foi realizado com duas UST's residenciais, presentes no Plano Piloto, a Residencial Misto (RM), representando 0,9% e a Residencial de Apartamentos Baixos com Média Densidade Construtiva (RB1) representando 0,2% do território da Região Administrativa de Brasília. A Figura 01 apresenta as UST's mapeadas e a legenda descritiva referente aos tipos de padrões urbanos no DF.

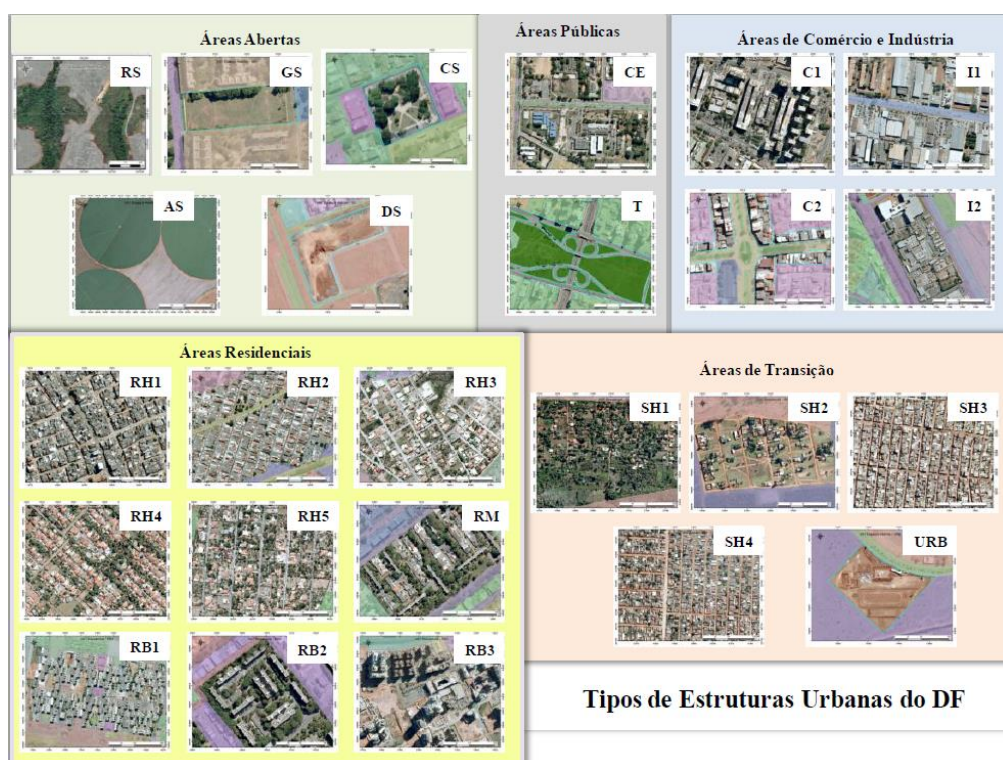


Figura 01 - Mapa de Tipos de Estruturas urbanas do Distrito Federal, Castro (2017).

As simulações foram realizadas com o modelo SWMM (*Stormwater Management Model*), e foram elaborados cenários para comparação entre as vazões de pico geradas de acordo com a capacidade de infiltração do solo, modelando como cenário base o solo do grupo A, e considerando a degradação da estrutura do solo e diminuição da capacidade de infiltração modelando com os solos do grupo B e C, para isso o parâmetro CN foi alterado para as três condições de acordo com o uso e ocupação.

A UST RM (Figura 02) apresenta alta densidade de ocupação do solo, com construções de alto padrão e lotes variando de 250 a 500 m², e edificações de 3 até 6 pavimentos. Nesta UST foram identificadas 8 classes de uso e ocupação do solo, obtendo um CN médio de 70,1 para o solo A, 80,7 e 86,8 para os solos tipo B e C respectivamente.



Figura 02 - UST Residencial Misto, Classificação do CN para o solo A.

A UST RB1 apresenta média densidade construtiva, com construções de médio padrão, sem tamanho de lote definido, pois estão localizadas em condomínios de apartamentos, com edificações de até 6 pavimentos. Nesta UST foram identificados 6 tipos de uso e ocupação do solo, conforme identificado na Figura 03, obtendo um CN médio de 80,3 para o solo tipo A, e 87,3 e 90,9 para os solos tipo B e C respectivamente.

Para as simulações foi utilizada a chuva de projeto da equação IDF de Brasília do PDDU (CONCREMAT, 2008), com o período de retorno de 10 anos para a rede de drenagem convencional e de 2 e 5 anos para a modelagem das técnicas compensatórias. O hietograma de projeto foi calculado utilizando o método dos blocos alternados, para uma chuva de duração de 24 horas, discretizada em intervalos de 5 minutos.

$$I = \frac{1574,70 \cdot TR^{0,207}}{(T + 11)^{0,884}} \quad (1)$$

Onde:

I: Intensidade da Chuva em mm/h;

TR: Tempo de Retorno em anos;

t: Tempo de Duração da Chuva em min.

A vazão de pré-desenvolvimento para as duas áreas foi calculada seguindo a Resolução nº 9 de 08 de abril de 2011, da ADASA. Para as USTs RM e RB1, respectivamente, a vazão máxima de pré-desenvolvimento obtida foi de 0,182 m³/s e 0,101 m³/s.

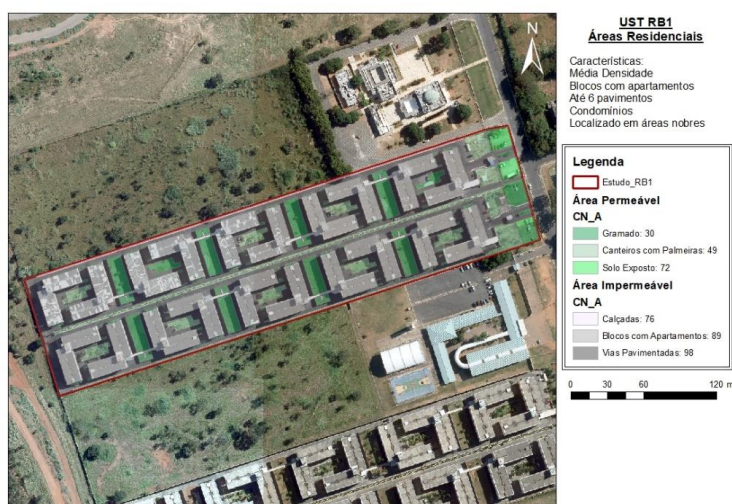


Figura 03 - UST Residencial de Apartamentos Baixos, Classificação do CN para o solo A.

Com o objetivo de atingir as condições de pré-desenvolvimento foram elaborados cenários com a utilização de medidas de controle na fonte de acordo com o espaço disponível para inserção das técnicas. Foram utilizadas trincheiras para a UST do tipo RB1 e valas de infiltração para a UST do tipo RM com os parâmetros de dimensionamento apresentados na Tabela 1 e Figura 04.

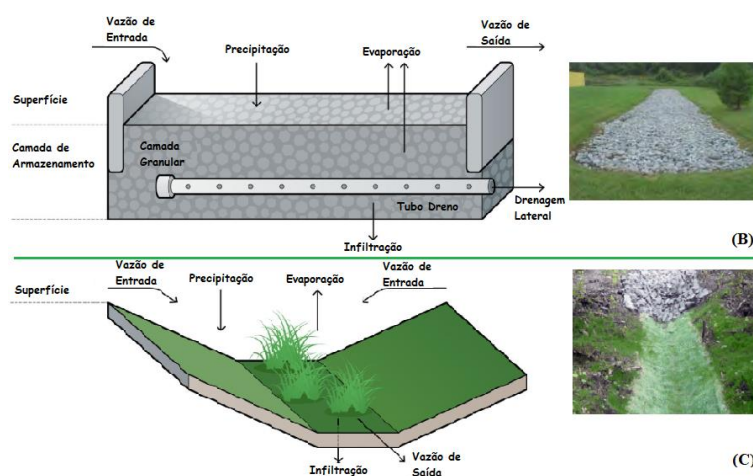


Figura 04 – Desenho esquemático das Técnicas Compensatórias, (A) Trincheira de Infiltração e (B) Valas de Infiltração.

Tabela 1 – Parâmetros de Dimensionamento.

Vala de Infiltração	
Altura da Berma (mm)	700
Volume de Vegetação	0
Rugosidade de Manning	0,25 (Gramado)
Declividade (m/m)	0,00001
Declividade do Talude (m/m)	1:1
Trincheira de Infiltração	
Altura da Berma (mm)	100
Volume de Vegetação (Fração)	0
Rugosidade de Manning	0,022 (Similar Gabião)
Declividade (m/m)	0
Profundidade (mm)	1900
Volume de Vazios (Fração)	0,40
Taxa de Infiltração (mm/h)	230,05
Fator de Colmatação	0
Coefficiente de Infiltração do Dreno (mm/h)	Variável de acordo com o Comprimento
Altura do Dreno (mm)	5
Diâmetro do Dreno (mm)	110

Os parâmetros de dimensionamento das técnicas compensatórias foram obtidos conforme a faixa de valores estabelecidas por Rossman e Huber (2016), as trincheiras de recarga conforme Adasa (2015) e parâmetros de infiltração e porosidade de Latossolos apresentados por Carvalho *et al.* (2012) e Lima *et al.* (2013). Os Latossolos são conhecidos por serem bem drenados, e terem características do grupo hidrológico de solos A, e foram utilizados na simulação das valas e trincheiras tendo como hipótese de que na construção destes dispositivos a estrutura do solo é alterada pela remoção ou revolvimento do solo compactado, podendo atingir a condição de infiltração de pré-desenvolvimento.

RESULTADOS

Para simular a compactação do solo nas áreas urbanas devido ao processo de instalação, foram elaborados três cenários, utilizando como cenário base de comparação o solo tipo A, do grupo hidrológico de solos da USGS, em condições naturais, e o tipo B e C, para simular a perda da capacidade de infiltração do solo devido compactação. Os resultados obtidos para as USTs estudadas estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados da simulação de deterioração da estrutura do solo no processo de urbanização.

UST RB1		
CN	Vazão TR 10 Anos	Comparação
CN A	0,4337	Cenário Base
CN B	0,4610	Aumento de 6%
CN C	0,5087	Aumento de 17%
UST RM		
CN A	0,6765	Cenário Base
CN B	1,1483	Aumento de 70%
CN C	1,4609	Aumento de 116%

Para o padrão de ocupação urbana Residencial Misto, foram utilizadas valas de infiltração para amortecimento da vazão de pico e atingir a vazão máxima de pré-desenvolvimento conforme o espaço disponível. Para verificar as condições extremas, as valas foram alocadas nas áreas verdes e canteiros, ocupando 100% da área disponível. A chuva de projeto para análise de eficiência das valas foi de 5 anos. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados da simulação de Valas de Infiltração para a UST RM.

Cenário	Vazão	Vazão com a utilização de Valas	Amortecimento
CN A	0,4757	0,4381	8%
CN B	0,7742	0,5888	24%
CN C	1,0543	0,5975	43%

Devido ao espaço disponível, não foi possível atingir a vazão de pré-desenvolvimento utilizando somente as valas de infiltração, mas é possível obter reduções da vazão de pico com a utilização de uma técnica de detenção, utilizando o espaço disponível próximo ao exutório, com a instalação de uma bacia de detenção de uso múltiplo com volumes de 662 m³ para o solo A, e 993 m³, 1260 m³ para os solos tipo B e C respectivamente.

Para a UST RB1, foram utilizadas trincheiras de infiltração, ocupando os espaços disponíveis e com uma localização estratégica para amortecimento da vazão de pico. Foi simulada a eficiência das medidas compensatórias para as chuvas de projeto de 2, 5 e 10 anos de tempo de recorrência. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados da simulação de técnicas compensatórias para a UST RB1.

TR	Cenário	Vazão sem LIDs	Vazão com o uso de LIDs	Amortecimento
10	CN A	0,4337	0,1960	54,81%
	CN B	0,461	0,2333	49,40%
	CN C	0,5087	0,2760	45,74%
5	CN A	0,3725	0,1468	60,59%
	CN B	0,3988	0,1782	55,31%
	CN C	0,4306	0,2074	51,83%
2	CN A	0,3028	0,0814	73,11%
	CN B	0,3194	0,1125	64,77%
	CN C	0,3493	0,1475	57,77%

Nesse caso também não foi possível atingir a vazão de pré-desenvolvimento para a UST RB1, e não é possível a utilização de uma técnica de detenção sem a supressão de vagas de estacionamento, próximo ao exutório da rede. Não foi considerada a hipótese de reservatórios subterrâneos devido aos custos, em geral elevados.

CONCLUSÃO

Apesar de se tratar de uma simulação não calibrada, foi possível observar que a simulação hidrológica - hidráulica de padrões de ocupação urbana com o modelo SWMM se mostra uma potencial ferramenta para a avaliação, planejamento e concepção de sistemas de manejo de águas pluviais.

Conforme mostrado na Tabela 2, verifica-se que a consideração de que a compactação do solo pode afetar fortemente a sua capacidade de infiltração alterando a tipologia do solo, leva a aumentar a um grande aumento de escoamento superficial e dos volumes que alcançam as redes de drenagem. Portanto, pode ser importante considerar, na concepção dos sistemas de manejo de águas pluviais, tanto convencionais, quanto utilizando medidas de controle, a capacidade de infiltração do solo após o processo de implantação da infraestrutura e edificações.

Para o solo tipo A as LIDs levaram a uma maior capacidade de amortecimento, superior a 55%, para tempos de retorno menores que 10 anos. Para alcançar essas taxas, nos solos B e C (após a compactação), seria necessária a utilização de uma área ou profundidade maior das trincheiras e valas, ou a utilização de técnicas de retenção.

A utilização de medidas compensatórias contribui para amortecimento das vazões de pico, e se mostram mais eficientes para tempos de retorno de 2 e 5 anos como esperado, o que indica sua importância principalmente para o incremento da recarga das águas subterrâneas. Utilizando somente medidas de baixo impacto, não é possível atingir as condições de pré-desenvolvimento desejadas, devido à falta de espaço necessário e ao grande grau de impermeabilização destes padrões de ocupação urbana, para tal seria necessário a utilização de técnicas de retenção próximas ao exutório.

Portanto para a UST RM, seria necessário um estudo de locação das LIDs para se obter uma maior efetividade, pois esta ficou abaixo de 43% de amortecimento. A utilização de técnicas como jardins de chuva ou células de biorretenção, devido ao grande espaço de áreas verdes disponível, poderia gerar um melhor resultado para esta UST, devido a sua geometria. Para a UST RB1, a técnica de trincheiras foi efetiva, devido a geometria e arranjo das edificações e vias, obtendo um grande volume de amortecimento, e acredita-se que a utilização de valas de infiltração poderia também ser efetiva para este tipo de UST.

REFERÊNCIAS

- ADASA (AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO DO DISTRITO FEDERAL). *Resolução n° 9, de 8 de abril de 2011*. Estabelece os procedimentos para requerimento e obtenção de outorga de lançamento de águas pluviais. Brasília: Adasa, 2011.
- ALAOUI, A., ROGGER, M., PETH, S., & BLÖSCHL, G. (2018). Does soil compaction increase floods? A review. *Journal of Hydrology*, 557, 631-642.

- CARVALHO, J. C. DE; JUNIOR G. DE F. N. G.; & CARVALHO, E. T. L. (2012). *Tópicos Sobre Infiltração: Teoria e Prática Aplicadas a Solos Tropicais*. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 672 p.
- CASTRO, K. B. DE (2017). *Segurança Hídrica Urbana: Morfologia Urbana e Indicadores de Serviços Ecossistêmicos, Estudo de Caso do Distrito Federal, Brasil*. Tese de Doutorado em Geociências Aplicadas, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 207 p.
- CONCREMAT ENGENHARIA (2008). *Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal – 2008*. Secretaria de Estado de Obras, NOVACAP, Brasília – DF, 237 p.
- FONSECA, F. O. (2001). *Olhares sobre o lago Paranoá*. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Brasília – DF.
- FRAGKIAS, M.; SETO, K. C. (2009). “Evolving rank-size distributions of intra-metropolitan urban clusters in South China”. In: *Computers, Environment and Urban Systems*, 33, 189 – 199.
- HOFMEISTER, B. (2004) ‘The study of urban form in Germany’, *Urban Morphology* 8, 3-12.
- LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M.; STRAUCH, M. & LORZ, C. (2013). Desenvolvimento de base de dados de solos para a aplicação do modelo SWAT em bacia do Bioma Cerrado. In: *XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Bento Gonçalves – RS, 8 p.
- MOON, K. D., DOWNES, N. K., RUJNER, H., & STORCH, H. (2009). Adaptation of the urban structure type approach for vulnerability assessment of climate change risks in Ho Chi Minh City. In: *E-Proceedings 45th ISOCARP Congress 2009 on Low Carbon Cities*, Porto, Portugal, 7 p.
- REATTO, A.; MARTINS, E. DE S.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V. DA & CARVALHO JR., O. A. DE (2004). *Mapa Pedológico Digital – SIG Atualizado do Distrito Federal, Escala 1:100.000 e uma Síntese do Texto Explicativo*. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Planaltina – DF, 29 p.
- ROSSMAN, L. A. & HUBER, W. C. (2016). *Storm Water Management Model Reference Manual, vol. III*, Water Quality. US EPA – United States Environmental Protection Agency, 161 p.
- TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 1. ed. [s.l.] ABRH, 1993.
- WICKOP, E. (1998). *Environmental Quality Targets for Urban Structural Units in Leipzig with a View to Sustainable Urban Development*. In: J. Breuste, H. Feldmann, & O. Uhlmann (Eds.). *Urban Ecology* (Chap. 01, pp. 49-55). New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto de Geociências pelo apoio e fornecimento dos dados e imagens necessárias para elaboração deste trabalho em especial Kássia Batista de Castro, Beatriz Ferraz Costa e Henrique L. Roig.

Ao apoio financeiro da CAPES, pela bolsa de mestrado, a qual venho desfrutando a mais de um ano. Ao PTARH, pela oportunidade de fazer parte da equipe e pelos ensinamentos e crescimento pessoal que venho adquirindo durante o mestrado.

A FAP DF e ANA pelo auxílio financeiro ao projeto ao qual meu estudo está vinculado.

A CHI Water pela licença disponibilizada do software PCSWMM.