

## ***Análise integrada da eficiência da microdrenagem e evolução do uso do solo em área urbana***

No planejamento, gestão e gerenciamento da expansão urbana, a evolução da ocupação do solo e da eficiência dos sistemas de drenagem urbana, devem ser considerados para evitar eventos de inundação, alagamentos e surgimento de processos erosivos. Considerando isso, o objetivo deste trabalho foi o de avaliar a relação espacial da eficiência e condição da microdrenagem e espaço-temporal do uso e cobertura das terras, com o surgimento e localização dos processos erosivos na área do Jardim Botânico em Goiânia (GO), definindo uma metodologia prática e inovadora no contexto da literatura, para a avaliação in loco dos elementos que constituem a microdrenagem e sistema de classificação e espacialização, segundo sua conservação e eficiência: Satisfatória, ruim ou péssima. Os locais mais degradados da microdrenagem foram relacionados espacialmente com as regiões com maiores alterações de impermeabilização do mapeamento do uso e cobertura das terras de 1964 a 2016, elaborados com imagens aéreas e de satélite. Os resultados indicam que as origens dos focos erosivos estão relacionadas às primeiras e mais rápidas alterações de impermeabilização que datam de 1975, 1988 e 1992, totalizando 25% da área de estudo. A região leste das áreas II e III apresentou rápida impermeabilização e maior densidade de pontos da condição péssima da microdrenagem, próximo às voçorocas e ravinas. Portanto, diante das análises dos resultados, conclui-se que existe relação espacial entre as variáveis da microdrenagem, uso e ocupação do solo e focos erosivos.

**Palavras-chave:** Drenagem urbana; Erosão hídrica dos solos; Uso do solo urbano; Jardim Botânico de Goiânia.

## ***Integrated analysis of microdrainage efficiency and land use evolution in urban area***

In planning, management and urban sprawl managing, the evolution of land use and the efficiency of urban drainage systems must be considered to prevent flooding events, inundation and the erosion processes arising. Considering this, the objective of this work was to evaluate the spatial relationship between the efficiency and condition of micro-drainage and the spatiotemporal use and coverage of land, with the emergence and location of erosive processes in the area of the Botanical Gardens in Goiânia (GO), defining a practical and innovative methodology in the context of the literature for the in loco evaluation of the elements that constitute the microdrainage and classification and spatialization system according to their conservation and efficiency: Satisfactory, bad or terrible. The most microdrainage degraded locations were spatially related to the regions with the greatest waterproofing changes in the mapping of land use and coverage from 1964 to 2016, elaborated with aerial and satellite images. The results indicate that the erosive outbreaks origin is related to the first and quickest waterproofing changes that date from 1975, 1988 and 1992, totalizing 25% of the studying area. The eastern region of areas II and III showed fast waterproofing and higher density of points in the terrible condition of microdrainage, close to gullies and ravines. Therefore, in view of the analysis of the results, it is concluded that there is a spatial relationship between the variables of micro-drainage, land use and occupation, and erosive focus.

**Keywords:** Urban drainage; Water soil erosion; Urban land use; Botanical Garden of Goiânia.

Topic: **Tecnologia, Modelagem e Geoprocessamento**

Received: **04/08/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Approved: **29/08/2021**

**Ricardo de Faria Nicolau**   
Universidade Federal de Goiás, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/1067119089045528>  
<http://orcid.org/0000-0002-9701-2029>  
[ricardonicolau41@gmail.com](mailto:ricardonicolau41@gmail.com)

**Karla Maria Silva de Faria**   
Universidade Federal de Goiás, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2186337194534589>  
<http://orcid.org/0000-0001-9381-932X>  
[karla\\_faria@ufg.br](mailto:karla_faria@ufg.br)

**Renata Santos Momoli**   
Universidade Federal de Goiás, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/4153268939426905>  
<http://orcid.org/0000-0001-7309-4974>  
[rsmomoli@gmail.com](mailto:rsmomoli@gmail.com)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0044

### **Referencing this:**

NICOLAU, R. F.; FARIA, K. M. S.; MOMOLI, R. S.. Análise integrada da eficiência da microdrenagem e evolução do uso do solo em área urbana. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.8, p.553-567, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0044>

## INTRODUÇÃO

A erosão hídrica acelerada é a forma que mais degrada os solos em sua estrutura física e constituição biológica, assim como é um dos impactos ambientais mais severos no ambiente urbano, com custos considerados elevados para os cofres públicos (PIMENTEL et al., 2013; GUERRA et al., 2014).

Segundo Borrelli et al. (2017), a erosão hídrica acelerada pode causar danos irreversíveis aos solos e totaliza a perda aproximada de 35,9 bilhões de toneladas de solos férteis anualmente por alterações antrópicas no mundo.

Os impactos advindos do uso e ocupação das terras desordenadas e da ineficiência da microdrenagem podem trazer vários impactos como: inundação em áreas urbanas, incidência de processos erosivos, poluição dos corpos hídricos com consequências na perda de biodiversidade, expansão urbana rápida e desordenada com presença de loteamentos em áreas de planície de inundação (CRAUL, 1992; TUCCI, 2008; SCALENGHE et al., 2009; BUTLE et al., 2011).

Os eventos de inundação são naturais e possuem ocorrência sazonal, no entanto, com impermeabilização nas áreas urbanas é recorrente o entupimento das redes de tubulação de água pluvial por sedimentos ou materiais de origens diversas. Estes processos podem condicionar maiores picos de vazão à jusante e alterações no ciclo hidrológico, com aumento do volume hídrico e frequência de ocorrência ao longo dos anos (TUCCI, 2008; SONG et al., 2018). Esta também é a realidade da cidade de Goiânia, capital do estado de Goiás.

O Jardim Botânico, situado na região sul do município de Goiânia, vem sofrendo com diversos impactos de erosão acelerada por ação antrópica como voçorocas e ravinas, que podem estar relacionados à falta de dispositivos de drenagem pluvial e compactação do solo, como indicado pela literatura (PEREIRA et al., 2012).

Para fins de gestão da área protegida, assim como do estabelecimento de ações do poder público mais efetivas, a ciência pode contribuir com metodologias diagnósticas rápidas que permitam análises correlacionadas e que determinem os locais de ações prioritárias, assim como apontar para a gestão pública as condições naturais de suscetibilidade que demandarão maiores atenções e ações de mitigação e correção de impactos.

Portanto, este artigo tem como objetivo realizar a análise integrada para compreender a relação espacial da eficiência e condição da microdrenagem e espaço-temporal do uso e cobertura das terras, com o surgimento e localização dos processos erosivos na área do Jardim Botânico em Goiânia (GO).

## METODOLOGIA

### Localização e caracterização geoambiental da área de estudo

A área de estudo Jardim Botânico Amália Hermano Teixeira (JBAHT) é uma unidade de conservação municipal envolta por construções urbanas. Possui área total de 1,2 km<sup>2</sup> e está inserida na porção sul do município de Goiânia, entre as coordenadas, latitude: 16°43'21.58"S e longitude: 49°14'54.44" O, que é

divido em três áreas I, II e III (Figura 1).

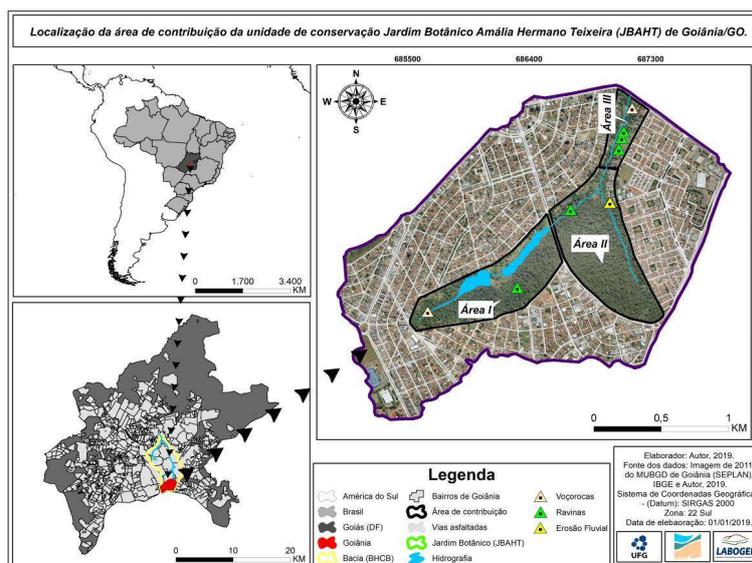


Figura 1: Localização da área de estudo.

O Jardim Botânico Amália Hermano Teixeira (JAHT), constitui uma Unidade de Conservação (UC) municipal, e está designada na categoria de proteção integral. Tem como atribuição a preservação da biodiversidade da vegetação do Cerrado Brasileiro, além de promover a educação ambiental e sua conservação através das coleções de pesquisas científicas e acadêmicas, divulgando o ensino e a pesquisa técnico-científica (PEREIRA et al., 2012).

A área apresenta historicamente feições erosivas de grande porte dentro do fragmento florestal, localizadas próximo às nascentes da área I. A origem dos processos erosivos já esteve associada na literatura (GOIÂNIA, 1993) ao ineficiente disciplinamento das águas pluviais, canalização das nascentes interligada à rede de drenagem, assim como, pode estar relacionada à impermeabilização do solo do entorno do fragmento, pois além da voçoroca, também se observam ravinas na ordem de 5 metros de largura e de 3,5 metros de profundidade, na porção de maior volume, com exposição das raízes das árvores.

### Procedimentos metodológicos

A delimitação da área de contribuição do Jardim Botânico de Goiânia foi realizada com dados de relevo do Modelo Digital de Terreno (MDT) do ano de 2006, que compõe a base de dados do Mapa Urbana Digital de Goiânia (MUBDG vs.25 de 2017), com 5 metros de resolução espacial e possui Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) classe A, com escala de 1:5.000.

De acordo com o Manual de Drenagem Urbana a microdrenagem integra o sistema de drenagem urbana, sendo definida pela existência de condutos pluviais projetada para atender a coleta de precipitações com risco moderado, sendo constituída por redes coletoras de águas pluviais, poços de visita, sarjetas, bocas-de-lobo e meios-fios. Portanto, a eficiência do sistema de drenagem demandou a avaliação desses elementos.

Foi obtido junto a Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos (SEINFRA), da prefeitura

de Goiânia, mapas impressos com a localização das bocas de lobo, diâmetro das tubulações, seguimento da rede de tubulações e poços de visita. As devidas localizações foram verificadas *in loco* individualmente na área de contribuição do Jardim Botânico Amália Hermano Teixeira (JBAHT).

Considerou-se a classificação e seleção de variáveis proposta por Menezes (2016), quanto a Tamanho das bocas de lobo em cm<sup>2</sup> (Figura 2a; b) e funcionalidade (limpas, presença de lixo e entupidas de sedimento) (Figura 2c; d; e) e acrescentou-se as variáveis de Condição de conservação das guias e sarjetas (ausência, presença ou danificadas - Figura 2f) e diâmetro das tubulações de água pluvial. Todas as variáveis foram avaliadas *in loco*.



**Figura 2:** Condições da microdrenagem analisada *in loco*. Altura e comprimento das bocas de lobo (a) e (b); Tubulação limpa (c); Tubulação suja (d); Tubulação entupida de sedimentos (e); Guias e sarjetas: ausência ou quebradas (f).

Como não foram identificadas metodologias na literatura que classificassem o tamanho da tubulação de água pluvial ou área de captação de água das bocas de lobo pelo diâmetro, estas foram subdivididas em: pequena, média e grande. Essas classes foram concebidas por meio do universo amostral da área de contribuição do Jardim Botânico e foram agrupadas considerando classificação de intervalos estatísticos em três diferentes tamanhos, sendo: Pequeno: (<9.000 cm<sup>2</sup>), médio: (9.000 - 18.000 cm<sup>2</sup>) e grande: (>18.000). Esta classificação estatística foi realizada no *software* Arcgis.

Entre os diâmetros das tubulações de água pluvial presentes na área de estudo, foram definidas como: pequeno (30 a 40 cm), médio (60 a 80 cm) e grande (100 a 150 cm). Considerou-se que os menores diâmetros das tubulações encontrados na área de estudo foram 30 centímetros e o máximo de 150 centímetros, portanto, criaram-se classes com intervalos iguais de 20 centímetros de espaçamento entre essas classes. É importante destacar que para cada coordenada dos bueiros avaliado no *software* Arcgis, foi considerado em que diâmetro de tubulação se encontrava. Definiu-se uma chave de classificação para determinar o enquadramento dos elementos da microdrenagem, segundo a eficiência esperada do sistema de drenagem (Quadro 01).

Com a inclusão das variáveis de conservação das guias e sarjetas e do diâmetro das tubulações de água pluvial, modificou-se inteiramente a lógica da matriz de inter-relação, proposta inicialmente por Menezes (2016) e resultou em nova metodologia de avaliação da microdrenagem.

A construção da chave de classificação para avaliação da eficiência do sistema de drenagem foi construída em três etapas, a fim de que todos os constituintes da microdrenagem foram avaliados e relacionados por meio de uma análise quali-quantitativa. A correlação dessas variáveis tem a finalidade de

verificar a condição/eficiência da microdrenagem urbana, conforme é exemplificado no quadro 2.

**Quadro 1:** Chave de classificação para determinação da condição e eficiência das variáveis constituintes da microdrenagem da área de estudo.

Variáveis da microdrenagem	Características da Condição e eficiência	Descrição
Tamanho das bocas de lobo	Grande (>18.000 cm <sup>2</sup> )	<b>Satisfatório (I):</b> Maior volume de água será captado pelo sistema de drenagem.
	Médio (9.000 - 18.000 cm <sup>2</sup> )	<b>Ruim (II):</b> Captação intermediária de água, entre a condição pequena e média.
	Pequeno (<9.000 cm <sup>2</sup> )	<b>Péssimo (III):</b> Menor área para entrada de volume de enxurrada no bueiro. Logo, mais água será direcionada ao Jardim Botânico.
Funcionalidade	Limpo	<b>Satisfatório (I):</b> Ausência de lixo e sedimento.
	Sujo	<b>Ruim (II):</b> Presença de Lixo ou sedimento em condição que impede parcialmente que o fluxo da água entre na caixa coletora e nos tubos de ligação. Apesar de possuir valor II (ruim), reduz a drenagem mais do que os demais elementos e por isso tem maior importância.
	Entupido	<b>Péssimo (III):</b> Caixa coletora do bueiro ou tubo de ligação, totalmente bloqueados por sedimento ou lixo.
Diâmetro das tubulações	Grande (100 a 150 cm)	<b>Satisfatório (I):</b> Maior capacidade de transporte do volume hídrico.
	Médio (60 a 80 cm)	<b>Ruim (II):</b> Capacidade intermediária de transporte do volume hídrico.
	Pequeno (30 a 40 cm)	<b>Péssimo (III):</b> Capacidade menor de transporte do volume hídrico.
Guias e sarjetas	Conservada	<b>Satisfatório (I):</b> Guias e sarjetas inteiramente conservadas com eficiência no disciplinamento das águas de escoamento superficial.
	Não conservada	<b>Péssimo (III):</b> Sarjeta e guias quebradas ou ausência em determinados trechos ao longo do pavimento. A condução da enxurrada para as bocas de lobo é comprometida e impossibilitada.

**Quadro 2:** Inter-relação dos elementos que influenciam na condição/eficiência da microdrenagem.

	Tamanho da Boca de Lobo	Diâmetro da Tubulação de água pluvial	Funcionalidade	Guia e Sarjeta	Condição/Eficiência	
1ª Etapa	Grande	Grande	Limpo	Não conservada	Satisfatório	
			Sujo	Não conservada	Ruim	
		Médio	Limpo	Não conservada	Satisfatório	
			Sujo	Não conservada	Ruim	
		Pequeno	Limpo	Não conservada	Ruim	
			Sujo	Não conservada	Péssimo	
	-	-	Tubulação entupida	-	Péssimo	
	2ª Etapa	Médio	Grande	Limpo	Não conservada	Satisfatório
				Sujo	Não conservada	Ruim
			Médio	Limpo	Não conservada	Satisfatório
Sujo				Não conservada	Péssimo	
Pequeno			Limpo	Não conservada	Ruim	
			Sujo	Não conservada	Péssimo	
-		-	Tubulação entupida	-	Péssimo	
3ª Etapa		Pequeno	Grande	Limpo	Não conservada	Ruim
				Sujo	Não conservada	Péssimo
			Médio	Limpo	Não conservada	Satisfatório
	Sujo			Não conservada	Péssimo	
	Pequeno		Limpo	Não conservada	Ruim	
			Sujo	Não conservada	Péssimo	
	-	-	Tubulação entupida	-	Péssimo	

A lógica é de que as variáveis de tamanho das bocas de lobo e de diâmetro de tubulações

consideradas pequenas possuem menor eficiência na captação e transporte do volume hídrico, e por isso recebem maior valor (III) e são considerados péssimos. A classe satisfatória (I) possui maior capacidade de drenagem. Enquanto, a ruim (II) é aquela que possui eficiência intermediária na captação do volume hídrico.

**Quadro 3:** Chave de classificação adotada para as imagens aéreas de 1964 a 2016.

Características					
	Classes de uso das terras	Textura	Tonalidade	Aspectos associados	Imagem (1992 e 2011)
Áreas naturais	Vegetação	Rugosa	Verde claro a escuro	Fundos de vale, unidade de conservação, praças, avenidas e lotes	
	Água	Lisa	Verde	Área mais rebaixadas do relevo ou fundo de vale	
Áreas antrópicas	Área construída	Heterogenia/rugosa	Marrom, cinza claro a escuro e branco	Casas e prédios	
	Vias asfaltadas	Lisa e homogênia	Cinza claro	Começou a ser implementada na década de 1988	
	Vias não asfaltadas	Grossa	Tom mais claro do que às vias asfaltadas	Existiu na área de estudos de 1964 a 1999	
Outras áreas	Solo exposto	Grossa	Branco e marrom	Lotes e áreas próximos ao parque sem vegetação	
	Área não construída	Rugosa e grossa	Verde, marrom	Lotes desocupados com gramínea, praças e campos de futebol	

**Fonte:** Adaptado de Souza et al. (2012).

A funcionalidade é a condição mais importante a ser considerada, pois está relacionada ao impedimento ou não do escoamento superficial. Quando às caixas coletoras das bocas de lobo ou tubos de ligação estão limpas, não há impedimento no escoamento superficial, e por isso são intituladas como satisfatória (I). Constituem-se como condição ruim (II), aquelas que impedem parcialmente o fluxo hídrico, porque estão sujas, tornam-se condição inadequada. Por último àquelas que estão totalmente entupidas de sedimentos (péssima III), não cumprem com sua função de captação de água, independente da condição dos outros elementos.

As guias e sarjetas quando estão quebradas ou com ausência deste elemento, a condução do escoamento superficial até as bocas de lobo é dificultada ou impossibilitada, causando geralmente a formação de poças de água nas calçadas ou asfalto, principalmente nas regiões de relevo mais baixo ou declividades menores, propiciando inundações.

O mapeamento do uso e cobertura das terras foi elaborado do ano de 1964 a 2016. A fotointerpretação e georreferenciamento das imagens foram realizadas no *Software Arcgis*, e em seguida

processadas no *software* ENVI, pelo parâmetro: *Segment Only Feature Extraction Workflow*, com aplicação do valor de 10 em nível de escala e 60 em nível de mesclagem. As imagens de 1964 a 1988, possuem resolução de 6 metros, enquanto as de 1992 a 2016, apresentam resoluções espaciais que vão de 10 a 60 centímetros. Resultando em mapa de uso na escala final de 1:32.000.

A resolução espacial das imagens possibilitou o mapeamento de 7 (sete) classes do uso e cobertura das terras, sendo: Vegetação, água, área construída, área não construída, solo exposto, vias asfaltadas, vias não asfaltadas (Quadro 3).

Dados históricos de chuvas diárias foram essenciais para relacionar com dados de uso, a fim de determinar períodos em que eventos de inundações podem ocorrer com maior frequência. As estações meteorológicas correspondem a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) com distância de 1,8 quilômetros da área de estudo e intervalo temporal de 2000 a 2016 e Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET) com 4,5 quilômetros de 1964 a 1999. Os dados da estação da CPRM foram adquiridos *in loco* no município de Goiânia.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram avaliadas *in loco* na área de estudo 447 “bocas de lobo”. O maior quantitativo de bocas de lobo é considerado de tamanho pequeno (<9.000 cm<sup>2</sup>) e perfazem 367, totalizando 82%, as bocas de lobo de tamanho médio (10.000 - 18.000 cm<sup>2</sup>) somam 54 e representam 12% do total, enquanto existem 26 bocas de lobo de tamanho grande (>18.000) representando 6% do total (Tabela 1).

**Tabela 1:** Percentagem (%) das variáveis da microdrenagem.

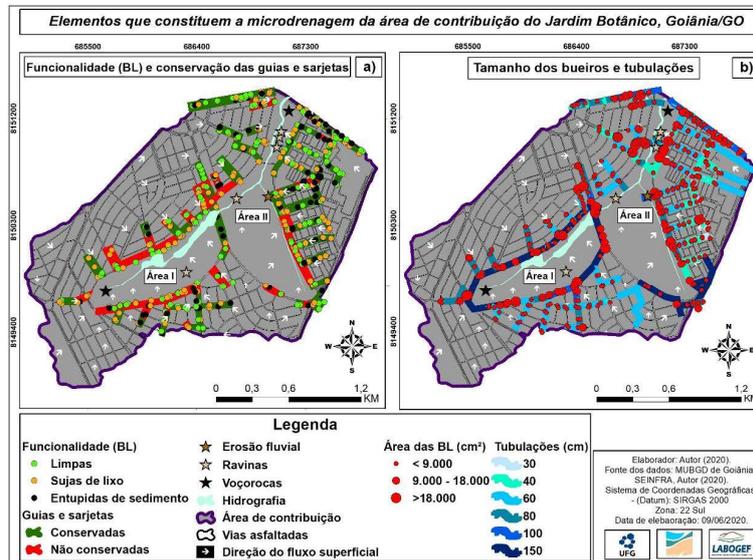
Área das bocas de lobo (cm <sup>2</sup> )	%	Guias e sarjetas	%	Funcionalidade	%	Diâmetro das tubulações (cm)	%	Eficiência e conservação	%
Pequeno (< 9.000 cm <sup>2</sup> )	82	Conservadas	74	Limpo	39	Pequeno - (30 a 40 cm)	16	Satisfatório	31
Médio (9.000-18.000 cm <sup>2</sup> )	12	Não conservadas	26	Sujo	38	Médio - (60 a 80 cm)	56	Ruim	33
Grande (> 18.000 cm <sup>2</sup> )	6			Entupido	23	Grande - (100 a 150 cm)	28	Péssimo	36

A maior parte das guias e sarjetas está conservada, >70% (Tabela 1), apesar disso, no mesmo arruamento em que essas guias e sarjetas estão também existem muitas bocas de lobo com condições péssimas, que são as consideradas entupidas, com 23% e as sujas com 38%, contribuindo para a ineficiência do sistema de drenagem (Tabela 1).

O maior quantitativo de tubulações de água pluvial considerando sua integração aos pontos das bocas de lobo está relacionado ao tamanho médio, que representa 56% das tubulações com diâmetro de 60 a 80 centímetros. Todavia, existe uma quantidade menor de tubulação de água pluvial, que são aquelas de tamanho pequeno, com cerca 16% e diâmetro de 30 a 40 centímetros (Tabela 1).

O maior quantitativo da eficiência/condição da microdrenagem é péssimo, com o total de 36%. Os valores com menor quantitativo são aqueles considerados como ruim 33% e satisfatório com 31% (Tabela 1). Esses dados da eficiência e condição da microdrenagem, foram abordados resumidamente no trabalho de Nicolau et al. (2019).

A condição e eficiência dos elementos da microdrenagem da área de estudo, representados na figura 3a e b, deixa claro que existe maior quantidade de bueiros totalmente entupidos de sedimentos e escassez de elementos da microdrenagem nas vias asfaltadas que se encontram nas direções dos focos erosivos. Portanto, conclui-se que existe relação entre o fluxo hídrico que é impossibilitado de ser captado e que escoar em direção aos focos erosivos.



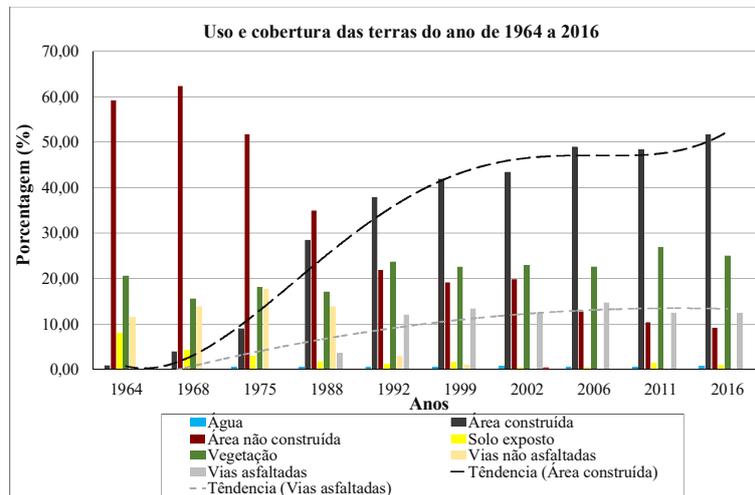
**Figura 3:** Condição e eficiência dos elementos da microdrenagem da área de estudo. Funcionalidade (BL) e conservação das guias e sarjetas (a); Tamanho dos bueiros e tubulações (b). \*BL= boca de lobo.

A impossibilidade de coleta do fluxo hídrico pelo sistema de drenagem está associada a variáveis altamente correlacionadas: aumento da impermeabilização dos solos em condições de declive favoráveis a intenso processo de escoamento superficial vinculado a intensas precipitações. Estas variáveis associadas a ineficiência do sistema de drenagem têm como consequências vários processos erosivos de grandes proporções dentro da área protegida.

O aumento da impermeabilização do solo resulta intenso processo histórico de ocupação urbana, observado para a área de contribuição do Jardim Botânico. Romero et al., (2007), apontam que elevado gradiente altimétrico da Bacia Hidrográfica do Córrego Botafogo, influencia em uma rápida concentração da água da chuva nos canais de drenagem, que por consequência tem proporcionado frequentes eventos de enchentes, na área de estudo.

Além dos processos erosivos a área também apresenta impactos ambientais relacionados a expansão da área antrópica e da população que adentra no local sem permissão, para o descarte de lixo, queimadas clandestinas, abertura de trilha na mata e consequente compactação do solo que amplifica o desencadeamento de processos erosivos.

O mapeamento do uso e cobertura das terras de 1964 a 2016 (Figura 4 e 5), revelam que o processo de expansão antrópica foi rápido inclusive dentro do remanescente florestal, com processo de impermeabilização dos solos associado a pavimentação das vias e ocupação dos lotes com residências concentrado em algumas décadas.



**Figura 4:** Porcentagem do uso e cobertura das terras do ano de 1964 a 2016 da área de estudos.

O histórico de uso e ocupação das terras permitiu compreender que o fragmento florestal sofreu mudanças abruptas nas áreas de vegetação. Principalmente na região norte, atual área III e na porção central da área I e a oeste da Área II do parque, próximo aos lagos artificiais do fragmento. De forma geral, observa-se que a vegetação passou por fases de desmatamento e de recuperação ao longo dos anos de 1964 a 2016 (Figura 5).

É possível notar, na figura 5, que no ano de 1964 na região sudoeste e oeste da área de estudo, houve maior exposição dos solos, que foi proveniente das primeiras construções (Figura 5). Esse intenso loteamento foi responsável por 8% de solo exposto em 1964, que ao longo dos anos sofreu decréscimos de aproximadamente 4% em 1968 e 2% em 1975 (Figura 5).

Os primeiros loteamentos que podem ter contribuído com a exposição dos solos, datam de meados de 1938 a 1978, segundo registros da Secretaria de Planejamento Municipal (SEPLAM).

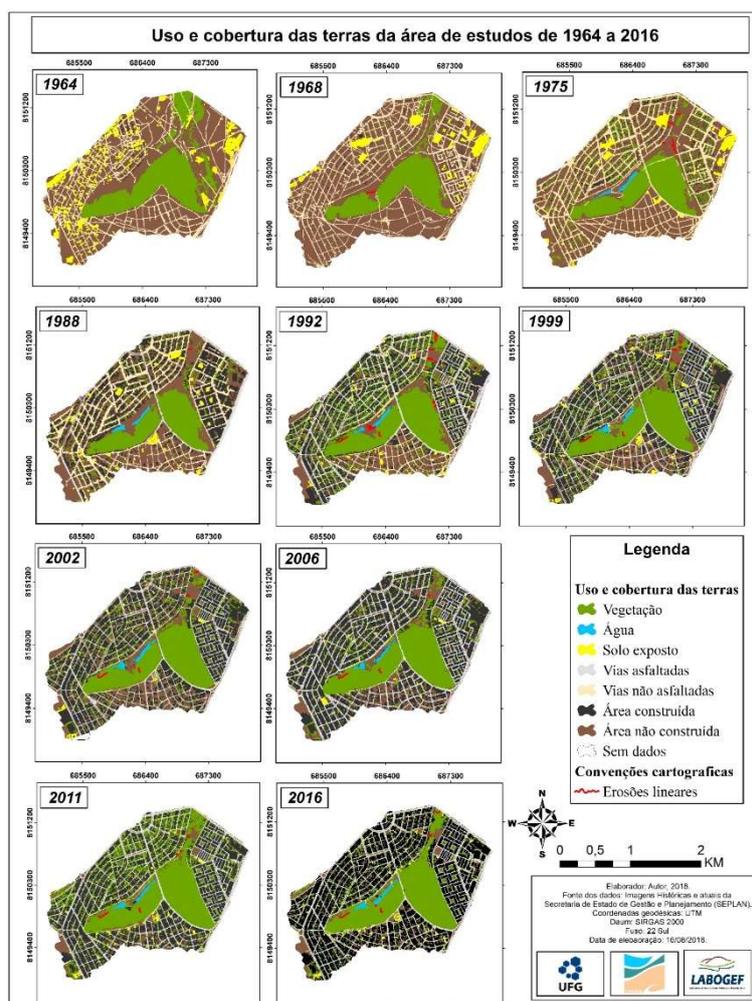
As maiores alterações de impermeabilização dos solos em um menor espaço de tempo estão relacionadas na mudança do uso de 1975 a 1988, onde houve a ocupação com área construída, totalizando 19,5 % (Figura 5). As maiores alterações de impermeabilização são do ano de 1964 a 2016, quando houve um aumento de 50,7% de áreas impermeabilizadas (Figura 5).

Observa-se que as áreas de solos expostos são maiores nos anos de 1964 a 1975, deixando claro que o início da preparação dos lotes para construção pode ter ocorrido nestes anos (Figura 5). Portanto, conclui-se que no intervalo destes anos, a exposição dos solos ao impacto das gotas das chuvas e ausência de impedimentos ao fluxo do escoamento superficial podem ter ocasionado maior carreamento e acúmulo de sedimentos nos cursos hídricos.

Partindo deste pressuposto, Oliveira et al. (2009) destacaram que os coeficientes de erodibilidade são elevados em estradas de terras e que outros fatores devem ser analisados como a falta ou inexistência de tubulações de água pluvial que é um dos maiores condicionantes para a formação de processos erosivos neste tipo de uso.

Os anos que tiveram maior quantidade de focos erosivos correspondem os anos de 1975 e 1992. No ano de 1975, os 4 focos erosivos localizados na região norte da unidade de conservação começam a surgir

devido à falta de cobertura vegetal e pela influência das vias não asfaltadas. Em 1992 a presença de 10 focos erosivos foi provavelmente originada pelo início do asfaltamento das vias públicas (Figura 5).



**Figura 5:** Mapeamento da evolução do uso e cobertura das terras do ano de 1964 a 2016 da área de estudos.

Alterações significativas ocorreram entre 1988 a 1992, 95% das vias não pavimentadas na década de 1980, foram rapidamente impermeabilizadas até 1992. Houve, apenas nessa década um incremento de 8,5% de impermeabilização e, até o último ano a avaliado 2016, a tendência das vias asfaltadas e áreas construídas sofreram pequenas variações com incremento de 13%.

Diante do exposto, os anos percussores dos processos erosivos evidenciam-se na transição dos anos de 1975, 1988 e 1992, pois correspondem ao período de impermeabilização dos solos, que aconteceu mais rapidamente com aumento de cerca de 25%, conforme pode ser observado na linha de tendência das áreas construídas e vias asfaltadas (Figura 5).

A avaliação do processo de impermeabilização no entorno do Jardim Botânico, apresenta resultados similares as pesquisas desenvolvidas por Nunes et al. (2018) e Rodrigues e Blanco (2018), em outras regiões brasileiras. A área do entorno do Jardim Botânico apresenta em 2016, 63% de áreas impermeabilizadas em 2016 e, mesmo que este estudo não tenha partido de estudos hidrológicos, é possível inferir que a rápida urbanização pode ter provocado incrementos substanciais na vazão e velocidade de escoamento superficial.

Nunes et al. (2018), identificaram para o município de Aparecida de Goiânia, um total de 70% de

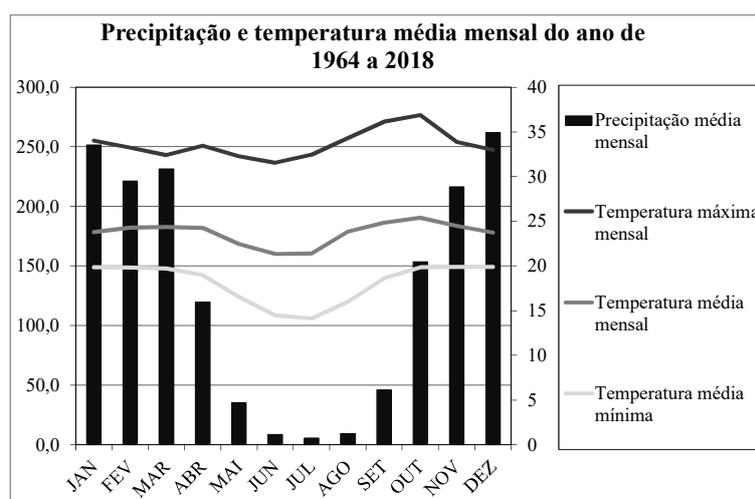
áreas impermeáveis em 2016 e acréscimo de vazão de 16,2 m<sup>3</sup>/s para 46,8 m<sup>3</sup>/s, no intervalo dos anos de 1992 a 2016. Benini et al. (2015) constataram na bacia do Mineirinho em São Paulo que o aumento de 27,9% de áreas impermeáveis de 1972 a 2000 ampliou acréscimo de 108% nas vazões máximas, causando incremento na velocidade de escoamento superficial e sobrecarga no sistema de microdrenagem.

As oscilações positivas e negativas quanto ao percentual apresentado pelas classes de cobertura vegetal ao longo de todo o período, pode estar associada a interferências da população quando a desmatamentos para fins ocupacionais ou de projetos ambientais do poder público em revegetações. Mas deve ser registrado que houve substancial redução de 558.000 m<sup>2</sup> (registrado para o ano de 2011), para 351.000 m<sup>2</sup> registados no ano de 2016.

Como a vegetação, em especial a mata ciliar que tem função de filtro para retenção de sedimentos, o comprometimento dessa classe pode contribuir no assoreamento dos cursos hídricos. Além disso, a redução de área verde pode ter contribuído para aumento da velocidade de escoamento superficial que deságua nas planícies de inundação do parque, principalmente na região norte e nordeste. Este comportamento de aumento de escoamento associado a diminuição de áreas verdes também já foi constatado por Oliveira et al. (2015) em um bairro no município de Santo Amaro (PE).

Considera-se ainda que as reduções das áreas verdes impactam nas condições climáticas locais, com ampliação dos picos de precipitação, assim como aumento da temperatura superficial.

Segundo dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET) de Goiânia, a precipitação total média de 1964 a 2018 da área de estudos é de 1610 mm/ano. As estações chuvosas possuem alturas pluviométricas médias mensais de 125 milímetros, sendo que as alturas maiores compreendem os meses de janeiro e dezembro com 250 a 260 milímetros. No extremo oposto, a época das secas perfaz em média cerca de 30 a 50 milímetros (Figura 6).



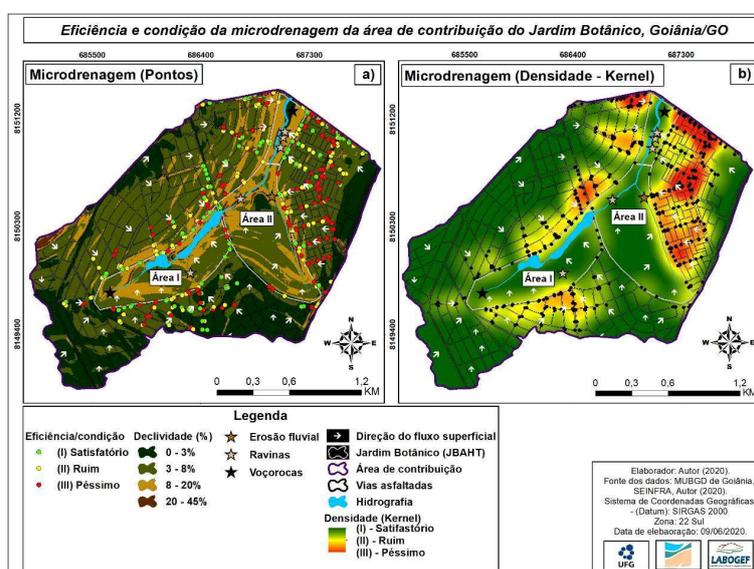
**Figura 6:** Série história (1964-2018) de precipitação acumulada e temperatura média mensal da área de estudo. Fonte: INMET (2021) e CPRM.

De forma geral, como pode ser observado na figura 52, as temperaturas próximas da área de estudos podem variar com mínimas de 14°C, médias de 25°C e máximas de 37°C.

Os dados apontam que do ano de 1964 a 1978 aconteceram 4 eventos de precipitação máxima de 100 a 134 milímetros em 24 horas. De 1979 a 1995, os eventos não ultrapassaram 100 milímetros. Contudo, nos anos de 1996 a 2016, as máximas pluviométricas diárias aumentaram mais do que anos anteriores, com 15 eventos com alturas pluviométricas que vão de 100 a 173 milímetros.

Percebe-se que os eventos de precipitação mais intensos de precipitação começam a ocorrer, quando existe a consolidação de lotes e casas a partir do ano de 1999, com impermeabilização de 55%, com variações mais normais até 2016. Dessa forma, de 1999 a 2016, o volume hídrico a ser captado pelo sistema de microdrenagem, possivelmente foi maior do que anos anteriores.

A espacialização dos pontos da microdrenagem e sua respectiva densidade (Figura 8b), indica que existe maior concentração de pontos péssimos na porção leste da área II e III, representadas pelas manchas vermelhas, onde a declividade é mais elevada, variando de 8% a 45% (Figura 7a).



**Figura 7:** Eficiência e condição da microdrenagem da área de estudo. Microdrenagem (Pontos) (a); Microdrenagem (Densidade - Kernel) (b).

As áreas de declividades de 0 a 6%, associado a relevo mais rebaixado e convergência de fluxos de escoamento, tem maior propensão de acúmulo de água. Neste sentido, se eventualmente as tubulações se encontram entupidas nestes locais, os riscos de alagamentos se tornam ainda maiores, como constatado nas áreas avaliadas por Santos et al. (2017) e Nogueira et al. (2020). Essas condições são claramente observadas na região sul e oeste da área I, que induz o acúmulo de água e potencializa os eventos de inundação, e respondendo também por ravinamentos no interior do fragmento (Figura 7a; b).

Avaliações *in loco* apontam que os focos erosivos estão localizados nas imediações da borda da unidade de conservação, e mesmo a existência nos arredores da UC de tubulações e bueiros que possuem tamanho maior, eles não são eficientes na captação do escoamento superficial, especialmente na área I, pois há maior tendência de obstrução por lixo ou sedimentos bueiros sujos, comprometendo a drenagem total do fluxo de água do escoamento.

Alguns autores alertam que teria sido a rápida expansão urbana do entorno do Jardim Botânico a responsável pelo desenvolvimento de processos erosivos lineares, pois não teria ocorrido preocupação em

construir galerias de águas pluviais suficientes, principalmente onde o fluxo da água da chuva é mais concentrado e converge para a região. Portanto, em poucos anos processos erosivos lineares do tipo sulcos evoluíram para voçorocas.

Além disso, próximo dos limites do fragmento florestal, maiores extensões de guias e sarjetas se encontram não conservadas e comprometem a condução do fluxo hídrico, induzindo ao acúmulo de água nas calçadas e vias públicas e aumentando a vulnerabilidade a inundações nessas regiões.

A voçoroca localizada na região a oeste da área I, pode ter se formado devido aos fatores da condição ruim e péssima e da inexistência dos elementos que constituem a microdrenagem, somada ao fluxo hídrico que se concentra através de 4 (quatro) vias asfaltadas de comprimento longo, e das declividades acentuadas próximo do parque no ponto de convergência do fluxo hídrico, conforme a figura 7 a e b.

Em suma, as regiões mais vulneráveis à inundação e formação de processos erosivos, estão situadas na porção leste das áreas II e III, devido a mais rápida impermeabilização dos lotes e adensamento de casas que ocorreu de 1975 a 1988 com cerca de 20% de áreas impermeáveis e maior densidade de pontos considerados péssimos da microdrenagem. Esses aspectos estão associados a declividades de 8 a 45%, que podem aumentar o pico de vazão a jusante e acelerar a perda de solos.

Ressalta-se que na região oeste e sul da área I, observou-se a inexistência ou ineficiência das tubulações de água pluvial, declives de 0 a 8%, com indícios de áreas verticalizadas e maior número de vias asfaltadas e confluência do fluxo hídrico, que torna mais propício a ocorrência de eventos de inundações e surgimento de focos erosivos.

## CONCLUSÕES

Para além de avaliar integralmente a correlação entre a ocupação, sistema de drenagem e a ocorrência de focos erosivos, este trabalho apresenta uma inovadora proposta metodológica de espacialização e avaliação da condição e eficiência dos elementos que constituem a microdrenagem.

As alterações no uso e cobertura das terras podem ter influenciado no surgimento dos focos erosivos, a exemplo da mais rápida impermeabilização dos solos que ocorreu entre 1975 a 1988, totalizando 19,5% de área construída. Mudanças abruptas também foram verificadas de 1988 a 1992, com conversão de 95% das vias não asfaltadas em asfaltadas na área de estudo.

O sistema de microdrenagem considerado ruim com 33% e péssimo com 36%, aliado às áreas impermeabilizadas que somam 63% até o ano 2016, às declividades acentuadas e precipitações diárias que podem chegar a 170 milímetros em 24 horas, podem ter causado aumento na velocidade de escoamento superficial e favorecido a incidência de erosivos acelerados que resultaram no surgimento das ravinas e voçorocas.

O período de 1996 a 2016 possui maior intensidade da precipitação, com 15 eventos intensos, que vão de 100 a 173 milímetros em 24 horas. Dentro deste intervalo temporal, especificamente em 1999, é marcado pela consolidação de lotes e casas, com impermeabilização de 55% da área de estudo. Neste sentido, a partir de 1999, provavelmente o Jardim Botânico de Goiânia, passou a apresentar maior

vulnerabilidade a eventos de inundações.

A microdrenagem apresentou maior densidade de pontos considerados ruins e péssimos, principalmente na porção oeste e sul da área I e leste da área II e III. Esses locais estão associados a maior concentração de áreas verticalizadas, à rápida impermeabilização e declividades mais elevadas de 8 a 45%. Nas proximidades destas regiões existem feições erosivas de grandes dimensões e os aspectos citados acima podem ter influenciado substancialmente em sua gênese e evolução. Trata-se para o poder público de uma área de monitoramento contínuo e necessário para mitigação/correção dos processos erosivos, mas também para prevenção de novos impactos associados à impermeabilização.

Neste sentido, conclui-se que existe uma relação espacial entre os pontos da condição ruim e péssima, das regiões com maior densidade de casas e lotes impermeabilizados com a localização dos processos erosivos e seus resultados (ravinas e voçorocas) dentro da unidade de conservação Jardim Botânico de Goiânia e que análise integrada de variáveis ambientais, infraestrutura e sociais podem ser avaliadas conjuntamente para definir estratégias de ocupação, mitigação e correção de impactos ambientais.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

BENINI, R. M.; MENDIONDO, E. M.. Urbanização e Impactos no Ciclo Hidrológico na Bacia do Mineirinho. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.22, n.2, p.211-222, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1590/2179-8087.103114>

BORRELLI, P.; ROBINSON, D. A.; FLEISCHER, L. R.; LUGATO, E.; BALLABIO, C.; ALEWELL, C.; MEUSBURGER, K.; MODUGNO, S.; SCHÜTT, B.; FERRO, V.; BAGARELLO, V.; OOST, K. V.; MONTANARELLA, L.; PANAGOS, P.. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. **Nature Communications**, London, v.8, n.1, p.1-13, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>

BUTLE, D.; DAVIES, J. W.. **Urban Drainage**. 3 ed. London: Spon Press, 2011.

CRAUL, P. J.. **Urban Soil in Landscape Design**. Hoboken. Nova Jersey: John Wiley & Sons Inc., 1992. DOI: <http://doi.org/10.5216/bgg.v38i2.54617>

GOIÂNIA. Departamento Estradas de Rodagem do município de Goiânia – DERMU. **Erosões Urbanas em Goiânia**: Convenio entre Universidade Federal de Goiás – UFG (Instituto de Química e Geociências e Departamento de Geografia e DERMU). Goiânia: UFG, 1993.

GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. C. O.; ALEXANDRE, S. T.. Soil Erosion and Conservation in Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, Rio de Janeiro, v.37, n.1, p.81-91, 2014.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Precipitação diária de (1964 a 1999)**: Dados históricos. INMET, 2021.

MENEZES, P. R. A.. **Avaliação do sistema de microdrenagem**

**urbana no entorno do Jardim Botânico de Goiânia**. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

NICOLAU, R. F.; FARIA, K. M. S.. Avaliação da eficiência e condição de conservação da microdrenagem e relação com os processos erosivos na área de contribuição do jardim botânico de Goiânia/GO. In: GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS, 18. **Anais**. Fortaleza: UFC, 2019.

NOGUEIRA, B. A.; NOGUEIRA, A. S.; FARIA, K. M. S.. Análise dos fatores condicionantes à inundações e alagamentos no Setor Jaó, Goiânia – GO. **Revista Equador**, Teresina, v.9, n.1, p.1- 23, 2020.

NUNES, E. D.; BORBA, L. L.. Avaliação dos efeitos do adensamento urbano na dinâmica hidrológica de bacias hidrográficas – aparecida de Goiânia - GO. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v.38, n.2, p.428-449, 2018.

OLIVEIRA, T. H.; SILVA, J. L.; SANTOS, M. O.; OLIVEIRA, J. S. S.; GALVÍNCIO, J. D.. Evolução espaço-temporal da drenagem superficial e do processo de impermeabilização em Santo Amaro, Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.08, n.06, p.1571-1587, 2015. DOI: <http://doi.org/10.5935/1984-2295.20150088>

PEREIRA, T. S. R.; PASQUALETTO, A.. Avaliação dos impactos ambientais no parque Jardim Botânico Amália Hermano Teixeira, Goiânia – GO. **Enciclopédia Biosfera**, Jandaia, v.8, n.14, p.1077-1090, 2012.

PIMENTEL, D.; TERHUNE, E. C.; DYSON-HUDSON, R.; ROCHEREAU, S.; SAMIS, R.; SMITH, E. A.; DENMAN, D.; REIFSCHEIDER, D.; SHEPARD, M.. Land degradation: Effects

on food and energy resources. **Science**, Washington, v.194, n.4261, p.149-155, 1976. DOI:

<http://doi.org/10.1126/science.194.4261.149>

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; FILHO, M. N. M. B.. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande - PB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.22, n.5, p.943-952, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1413-41522016146661>

SCALENGHE, R.; AJMONE-MARSAN, F.. The anthropogenic sealing of soils in urban areas. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v.90, n.1-2, p.1-10, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.011>

SONG, Y. H.; YUN, R.; LEE, E. H.; LEE, J. H.. Predicting Sedimentation in Urban Sewer Conduits. **Water**, London, v.10, n.462, p.1-16, 2018. DOI: <http://doi.org/10.3390/w10040462>

SOUZA, S. B.; JÚNIOR, L. G. F.. Relação entre temperatura de superfície terrestre, índices espectrais e classes de cobertura da terra no município de Goiânia (GO). **Revista RA'EGA**, Curitiba, v.26, p.75-99, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v26i0.30151>

TUCCI, C. E. M.. Urban Waters. **Revista Estudos avançados**, São Paulo, v.22, n.63, p.97-112, 2008.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.