



# Mudanças morfológicas na bacia hidrográfica do Córrego Barreiro ao longo do processo de urbanização, Goiânia – GO

*Morphological changes in the hydrographic basin of the Córrego Barreiro throughout the urbanization process, Goiânia - GO*

Kamila Almeida dos Santos <sup>[a]</sup> , Klebber Teodomiro Martins Formiga <sup>[a]</sup> ,  
Vinícius Sobreira Braga <sup>[b]</sup> , Karla Maria Silva de Faria <sup>[a]</sup> 

<sup>[a]</sup> Universidade Federal de Goiás (UFG), Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Goiânia, GO, Brasil

<sup>[b]</sup> Universidade Federal de Goiás (UFG), Programa de Pós-Graduação em Administração Pública em Rede Nacional, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Aparecida de Goiânia, GO, Brasil

**Como citar:** Santos, K. A., Formiga, K. T. M., Braga, V. S. & Faria, K. M. S. (2021). Mudanças morfológicas na Bacia Hidrográfica do Córrego Barreiro ao longo do processo de urbanização, Goiânia -GO. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 13, e20200047. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.013.e20200047>

## Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o processo de ocupação urbana e sua influência no comportamento da morfologia da Bacia Hidrográfica do Córrego Barreiro, situado em Goiânia – GO, analisando suas disposições atuais para uso em contraste com as características de distintos períodos do meio físico. A metodologia adotada avaliou o espaço-temporal entre mudanças na cobertura e uso do solo urbano entre 2006, 2012, 2016 e 2019 e o comportamento da morfologia do canal, frente ao aumento dos índices de impermeabilização. Identificaram-se as classes Impermeável, Não-permeável, Área verde, Arruamento, Solo exposto e Erosão. Observou-se uma tendência de aumento das classes Impermeável e Solo exposto, enquanto a classe Não-permeável apresentou queda e a classe Área verde apresentou respostas diversas. O aumento da classe Solo exposto está relacionado com o crescimento da área urbana na bacia do estudo. Também foi realizada uma análise granulométrica de amostras de solos e as análises apresentaram uma maior presença de areia seguida pelo silte, configurando materiais com textura leve, que desagregam com facilidade e são carregados com o escoamento. Os resultados indicam como os impactos da urbanização interferem na bacia hidrográfica.

**Palavras-chave:** Erosão. Uso do solo. Impermeabilização. Área urbana.

KAS é tecnóloga em Geoprocessamento, doutoranda em Ciências Ambientais, e-mail: [kamilas.geo@gmail.com](mailto:kamilas.geo@gmail.com)

KTMF é engenheiro civil, doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento, e-mail: [klebberformiga@ufg.br](mailto:klebberformiga@ufg.br)

VSB é administrador, mestre em Administração Pública, e-mail: [admviniciusbrega@gmail.com](mailto:admviniciusbrega@gmail.com)

KMSF é geógrafa, doutora em Geografia, e-mail: [karla\\_faria@ufg.br](mailto:karla_faria@ufg.br)

## Abstract

*This work aimed to evaluate the process of urban occupation and its influence on the morphological behavior of the Barreiro Creek Basin, located in Goiânia - GO, analyzing its current arrangements for use in contrast with the characteristics of different periods of the physical environment. The methodology adopted evaluated the space-time between changes in coverage and urban land use/land cover (LULC) between 2006, 2012, 2016 and 2019 and the behavior of the channel morphology, in view of the increase in waterproofing rates. The classes Waterproof, Non-permeable, Green Area, exposed were identified, while the class Non-permeable presented a drop and the class Green Area presented several answers. The increase of the Solo exposed class is related to the growth of the urban area in the study basin. A granulometric analysis of soil samples was also performed and the analyses showed a greater presence of sand followed by silt, configuring materials with light texture, which disintegrate easily and are loaded with flow. The results indicate how the impacts of urbanization interfere with the watershed.*

**Keywords:** Erosion. Use of soil. Waterproofing. Urban area.

## Introdução

De acordo com a ONU (2018) cerca de 55% da população mundial vivem em áreas urbanas, com projeções para até 2050 a proporção aumentar para 70%. No Brasil o crescimento urbano acelerado é uma realidade, ao chegar em seus contornos periféricos, ocorre massiva retirada da vegetação natural para ocupação antrópica com expansão de impermeabilização e pavimentação, acarretando danos permanentes ao sistema ambiental. Em conjunto com estes danos está o aumento do fluxo do escoamento superficial e a diminuição da infiltração da água no solo, tendo como consequências cenários de inundação. Esses escoamentos se tornam tão intensos que potencializam os processos erosivos acarretando mudanças hidrológicas e sedimentológicas (Kang & Marston, 2006), que afetam a qualidade de vida urbana.

Uma das consequências do processo de urbanização e da retirada da vegetação nativa são as mudanças climáticas. O aumento dos eventos de chuva são ocasionados pelas mudanças nos regimes de precipitação em conjunto com o crescimento urbano populacional e na modificação do solo em superfícies impermeáveis aumentando os riscos de inundação urbana e erosão hídrica (Shikangalah et al., 2016). Sörensen e Mobini (2017) denotam a importância de investigar de forma individual as características das bacias hidrográficas e a área urbana onde os eventos ocorrem, pois a inundação pluvial atua de forma diferente em relação a inundação fluvial, tanto em suas características quanto seu mecanismo operam de forma opostas. Segundo Christofletti (1974) a compreensão dos elementos da bacia, como a drenagem, tipo de solo e relevo, auxiliam no entendimento da dinâmica ambiental, considerando que todos os elementos ocorridos refletem direta ou indiretamente nos rios. É imprescindível compreender que cada bacia hidrográfica contém padrões únicos e que os eventos de precipitações e inundações devem ser analisados de forma independente (Glaser et al., 2010)

A análise das suscetibilidades, vulnerabilidade e riscos inerentes às alterações hidrológicas de bacias hidrográficas urbanas (Chin & Gregory, 2001; Rodrigues & Gouveia, 2013) indicam que os diferentes níveis de degradação e impactos estão vinculados ao uso do solo imposto pelas atividades urbanas às bacias hidrográficas que não se resumem apenas à impermeabilização do solo, mas também à situação topográfica selecionada para ser ocupada, assim como o uso e ocupação do solo que é realizado nas Áreas de Preservação Permanente (APP). As mudanças que ocorrem com a remoção da vegetação, substituindo áreas permeáveis por superfícies impermeáveis, interferem na drenagem e no escoamento superficial. Como consequência da impermeabilização pode suceder a diminuição da permeabilidade da água, perda da biodiversidade, alteração da qualidade da água no escoamento superficial (Scalenghe & Marsam, 2008; Matos et al., 2015). Todas essas mudanças em conjunto com o rápido crescimento populacional urbano alteram o uso e ocupação do solo e sua geografia local, tornando uma das maiores problemáticas desenvolvidas nos centros urbanos brasileiros.

Em Goiânia, capital do estado de Goiás, diversos canais de drenagem urbana e suas respectivas bacias hidrográficas vêm sendo avaliadas quanto aos impactos socioambientais vinculados ao processo acelerado de urbanização (Romero & Formiga, 2017; dos Santos et al., 2015; Rocha et al., 2018), entretanto ainda são escassos os estudos que avaliem as bacias peri-urbanas sujeitas a rápido processo de urbanização e análise do comportamento evolutivo do canal, como o caso da bacia do Córrego Barreiro. É importante reconhecer que no cenário atual o desenvolvimento econômico ocorre concomitante com o crescimento urbano e é necessário pensar em um crescimento sustentável que atenda às necessidades atuais e futuras, ter qualidade de vida e acessos aos recursos naturais.

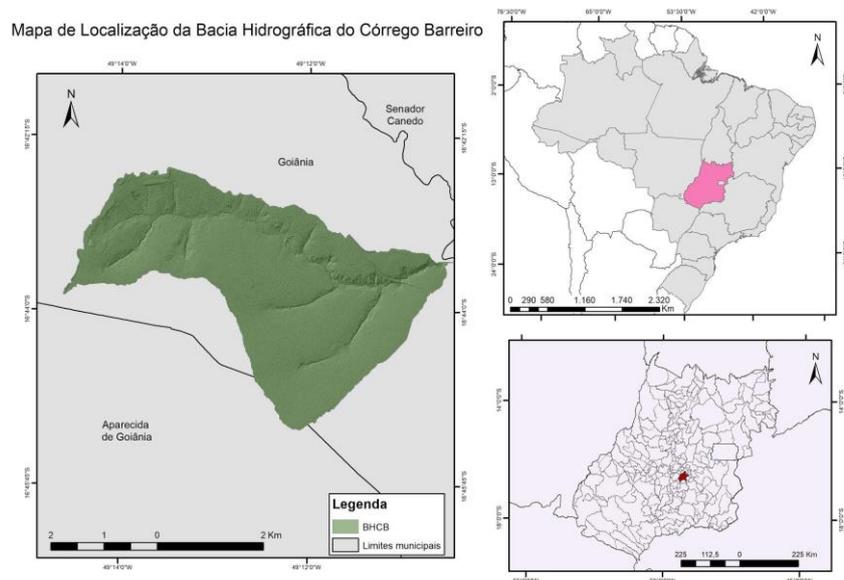
Nesse sentido o objetivo principal deste trabalho é avaliar o processo de ocupação urbana e sua influência no comportamento da morfologia do canal do córrego Barreiro, tendo como objetivos específicos (I) a análise histórica do uso e ocupação do solo (II) Verificar a influência da antropização da bacia hidrográfica e da direção de fluxo da bacia na dinâmica fluvial do canal e nos processos erosivos.

## Metodologia

### Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Córrego Barreiro (BHCB), apresenta uma área de 15,80 m<sup>2</sup>. É afluente da margem direita do rio Meia Ponte, localizada na região sudeste do município de Goiânia, capital do estado de Goiás (Figura 1). A ocupação começou na década de 1950 com a aprovação de dois loteamentos — Bairro Alto da Glória e Jardim da Luz (Amma, 2008).

Apresenta solo Latossolos avermelhados argilo-arenosos, de idade terciária/quaternária (TQdl), detríticos e em alguns locais lateríticos (Goiânia, 2007). O clima na região da bacia é do tipo tropical, caracterizado por duas estações bem definidas, uma seca, que vai de maio a setembro e outra chuvosa que vai de outubro a abril, período em que ocorrem chuvas torrenciais. A temperatura média anual do ar é de 23,0°C.



**Figura 1** – Mapa de localização contendo o Brasil, estado de Goiás e a bacia hidrográfica dentro do município de Goiânia.

Fonte: Elaboração Própria.

Embora a bacia hidrográfica do Córrego Barreiro (BHCB) esteja caracterizada no Plano Diretor de Goiânia (2007) como uma das macrozonas rurais do município, ela apresenta um rápido crescimento urbano, estimulado por setores imobiliários específicos.

## Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica

Em estudos ambientais, que avaliam a dinâmica de bacias hidrográficas torna-se necessário a análise das características físicas e bióticas, pois tais características exercem importante papel nos processos do ciclo hidrológico (infiltração, evapotranspiração e o escoamento subsuperficial superficial), permitindo avaliações quanto aos potenciais e limitações ambientais da bacia e dos recursos hídricos. As características físicas são avaliadas por meio de análise morfométricas da rede de drenagem.

Para a realização da análise morfométrica características da rede de drenagem (Quadro 1) utilizou-se o Modelo Digital do Terreno (MDT) da cidade de Goiânia, gerado a partir de dados LiDAR, com escala de 1/1000 e resolução espacial de 1 metro.

**Quadro 1** – Fórmulas utilizadas na caracterização morfométrica da bacia

Índice morfométrico	Descrição	Fórmula	Referência
Fator de Forma	Correlaciona o formato geométrico da bacia com um retângulo	$K_f = \frac{A}{L^2}$ Onde: A = área da drenagem (m <sup>2</sup> ); L = comprimento do eixo da bacia (m).	Horton (1945)
Índice de Compacidade	Correlaciona a forma geométrica da bacia com um círculo	$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$ Onde: P = perímetro da bacia (m); A = área da drenagem (m <sup>2</sup> )	Lima (1996)
Índice de Circularidade	Similar ao índice de compacidade, ele tem a unidade quando a bacia se aproxima do formato circular e seu valor diminui para bacias alongadas.	$I_c = \frac{12,57xA}{P^2}$ Onde: A = Área de drenagem (m <sup>2</sup> ); P = Perímetro (m)	Miller (1953)
Densidade de Drenagem	A soma de todos os canais e a área da bacia hidrográfica são correlacionados.	$L_d = \frac{L}{A}$	Horton (1945)

Fonte: Elaboração Própria.

Os índices “Fator de Forma”, “Índice de Compacidade” e “Índice de Circularidade” correspondem a parâmetros relativos à Geometria da bacia, permitindo avaliar a tendência do formato e da suscetibilidade da bacia em propiciar processos de inundação e enchentes (Stevaux & Latrubesse, 2017).

O “Fator de Forma” compara a largura da bacia com seu comprimento, permitindo avaliar com seu resultado a tendência da bacia a ocorrência de enchentes. Considera-se que bacias que apresentam fator de forma baixo são menos propensas a enchentes que outra com a mesma área, mas com fator de forma maior (Villela & Mattos, 1975; Stevau & Latrubesse, 2017). Concomitantemente o “Índice de Circularidade” também avalia as tendências da bacia a processos de enchentes, considerando em seu cálculo dados de Área e Perímetro da bacia para avaliar a disposição para o formato circular. Quanto mais próximo de 1, mais próxima da forma circular será a bacia hidrográfica (Christofolletti, 1974).

A avaliação da tendência a propiciar processos de inundação é obtida com o “Índice de Compacidade”, que compara perímetro e área de uma bacia com outra de forma circular e mesma área. Quando o índice é

mais próximo a 1, mais circular é a forma da bacia e, portanto, ela é mais suscetível à inundação (Stevaux & Latrubesse, 2017).

A Densidade de Drenagem (DD), corresponde a um parâmetro que permite avaliar o desenvolvimento da drenagem em uma bacia, refletindo influência de diversos fatores como geologia, topografia, solo, vegetação e da atuação direta de condições climáticas (regime e vazão dos cursos). É um índice que está relacionado com o tempo gasto para a saída do escoamento superficial da bacia. É calculada por meio da divisão do somatório dos comprimentos dos canais pela área da bacia (Horton, 1945).

Segundo Strahler (1957) as bacias podem ser classificadas em: **baixa** DD: 5.0 km/km<sup>2</sup>; **média** DD: 5,0 - 13,5 km/km<sup>2</sup>; **alta** DD: 13,5 - 155,5 km/km<sup>2</sup>; **muito alta** DD: >> 155,5 km/km<sup>2</sup>.

## Classificação de uso e ocupação do solo

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei 9.433/1997, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, onde ficou definido que a bacia hidrográfica deve ser a unidade territorial em que ocorre a implementação das políticas de gestão dos recursos hídricos. A lei determina que a gestão deve incluir a participação de setores usuários, do setor público e estar integrada com a gestão do uso do solo. A realização da classificação de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica em diferentes períodos é uma ferramenta necessária para o acompanhamento das mudanças na bacia hidrográfica e de como sua gestão está sendo realizada.

Os mapas de cobertura e uso do solo foram elaborados com base em imagens de satélites multitemporais da área de estudo (acessadas via software Google Earth Pro nas datas 2006, 2012 e 2016). A metodologia é semelhante à aplicada por Oliveira et al. (2011) e Silva et al. (2015), em suas respectivas áreas de estudo. Para a seleção das imagens foram considerados períodos que apresentavam melhores distinções para realizar o mapeamento das áreas temáticas que foram trabalhadas na classificação. Realizou-se o processo de registro manual a partir de pontos de controle, que são feições bem definidas e fáceis de serem identificadas nas duas imagens. Foram escolhidos pontos estratégicos como telhados, faixas de pedestres e cruzamentos de ruas.

Na utilização de imagens onde ocorrem análises multitemporais de uma mesma área, é necessário assegurar que os pixels das imagens serão da mesma área trabalhada. É importante reforçar que as distorções que ocorrem em imagens de períodos distintos são naturais, também ocorre se utilizam o mesmo satélite e sensor. Para isso é realizado o registro onde ocorre um alinhamento geométrico do sistema de coordenadas de uma imagem que é dado por pixel/linha e é ajustado a um equivalente de outra imagem (Crósta, 1999).

Foi utilizada a classificação supervisionada de máxima verossimilhança (MaxVer) no software ENVI 4.7. O processo foi realizado após a definição de chave de classificação elaborada considerando coleta de dados em campo na área de estudo e inspeção visual de classes de usos. Foram definidas seis classes para uso e cobertura do solo da BHCB: (1) Erosão - pontos erodidos ao longo do canal; (2) Área verde - vegetação arbórea da bacia; (3) Impermeável - construções; (4) Arruamento - estradas pavimentadas; (5) Solo exposto - áreas sem cobertura vegetal; (6) Não-permeável: área onde o solo estava sendo utilizado para alguma cultura, pastagem ou com cobertura de espécies gramíneas, mas devido ao grau de compactação do solo desses locais, onde a capacidade de infiltração da água no solo é reduzida, optou-se por classificar como “não-permeável”.

Posterior à classificação, os mapas resultantes foram comparados estatisticamente. O coeficiente de correlação de Pearson foi aplicado para avaliar a força da associação entre as variáveis das classes de uso e cobertura do solo.

## Avaliação da mudança do canal e análise do solo

As imagens utilizadas para a elaboração dos mapas de uso serviram também para avaliação da mudança no traçado do canal do córrego Barreiro. Assim é possível acompanhar historicamente o processo de solapamento das bordas dos canais por meio da migração do curso d'água através de uma vetorização da drenagem do córrego Barreiro no software ArcGis. Dessa forma foi possível analisar quais modificações ocorreram no canal nos períodos analisados.

Para a análise das mudanças geométricas do canal, uma vetorização foi realizada com imagens do Google Earth (2006, 2012, 2016 e 2019) com os dados sobrepostos, assim foi possível realizar sua inspeção visual. Nesta verificação é possível observar alterações significativas do curso hídrico nos últimos 13 anos, sendo exequível selecionar o trecho erodido que apresentou maior recorrência de processos erosivos na avaliação tempo-espacial. Neste trecho foram realizadas coletas de solo para avaliação do comportamento granulométrico pela textura.

Como a granulometria estabelece relações com as partículas primárias (argila, silte e areia), tamanhos e diâmetros específicos, é possível conhecer qual a textura do solo (Klein, 2014) e conseqüentemente qual o nível de influência que ela tem sobre retenção e disponibilidade de água e de nutrientes, sua resistência à penetração de raízes, estabilização de agregados, arejamento e conseqüentemente erodibilidade do solo, sendo fundamental para compreensão dos processos que ocorrem nos canais (Oliveira et al., 2010; ARAÚJO et al., 2016).

A análise granulométrica foi realizada a partir de difração a laser pelo método descrito por Bortoluzzi & Poletto (2006). Foram realizadas duas análises granulométricas, tendo um intervalo de 5 meses entre as coletas em campo.

O Modelo Digital do Terreno foi gerado a partir de dados LiDAR aerotransportado com escala de 1/1000 e resolução espacial de 1m. Ele foi utilizado para a construção dos mapas de direção de fluxo, relevo sombreado e declividade. A direção de fluxo foi realizada através do algoritmo de Jenson & Domingue (1988) denominado *eight direction pour point algorithm* (D-8, que) que permite definir um código onde a direção de escoamento é alocada em cada célula, onde considera qual critério a água irá escoar em determinada direção, entre as 8 possíveis, em que a declividade for a máxima. Definidas as direções do escoamento, sabe-se que o cenário do escoamento superficial urbanizado é mais intenso do que o cenário sem nenhum tipo de ocupação, pois a impermeabilização causa impactos na bacia e em seu escoamento devido a sua incapacidade de infiltração. No algoritmo D-8 o fluxo do escoamento é determinado apenas por 8 direções separadas por 45°. Dentro da área estão presentes construções e alterações antrópicas, como arruamentos, fazendo com que o sentido original do percurso sofra alterações.

Também foi realizado um voo com o drone na área de estudo para verificação das mudanças que ocorreram na dinâmica fluvial do Córrego Barreiro. O voo foi realizado no mês de maio de 2019.

## Resultados e Discussões

### Caracterização Morfométrica Da Bacia

Os resultados da caracterização morfométrica indicam que, em sua forma natural, a BHCB é pouco suscetível a enchentes, sem considerar, portanto, eventos de precipitação anormais (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego Barreiro

Índice	Resultado
Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	15,80
Perímetro (km)	22,44
Índice de compacidade (Kc)	1,58
Fator de Forma (F)	0,29
Índice de circularidade	0,39
Comprimento da bacia	7,38
Comp. Rio principal	8,55
Densidade de drenagem (Dd)	1,35

Fonte: Elaboração Própria.

Os índices de compacidade da bacia e de forma indicam que a bacia tem inclinação para uma forma mais alongada, que é comprovado pelo índice de circularidade, apresentando um bom nível de escoamento, tendo, portanto, baixa tendência à ocorrência de cheias (Tabela 1). O fator de forma também reflete no valor encontrado para a densidade de drenagem, pois quanto mais alongado o formato da bacia, maior será seu valor. Os resultados de Dd permitiram avaliar o nível de desenvolvimento do sistema de drenagem da bacia hidrográfica e apontar o grau de sua eficiência. A densidade de drenagem encontrada indica que é uma bacia com drenagem regular (Carvalho & Silva, 2006).

Esse índice indica como a velocidade e volume d'água originado pela precipitação chegará ao final da bacia, constata-se que em sua forma natural a BHCB está menos sujeita a picos de enchentes.

No perfil longitudinal ocorreram poucas anomalias (Figura 2), tendo rupturas de patamar em 3 (três) pontos. Ao longo do canal ocorrem pequenas rupturas, porém com valores baixos que não interferem significativamente em mudanças do perfil. Na ruptura entre as altitudes 770 a 790 metros é apresentada a primeira quebra de relevo do canal. As rupturas significativas que ocorrem ao longo do canal estão presentes no curso médio e baixo.

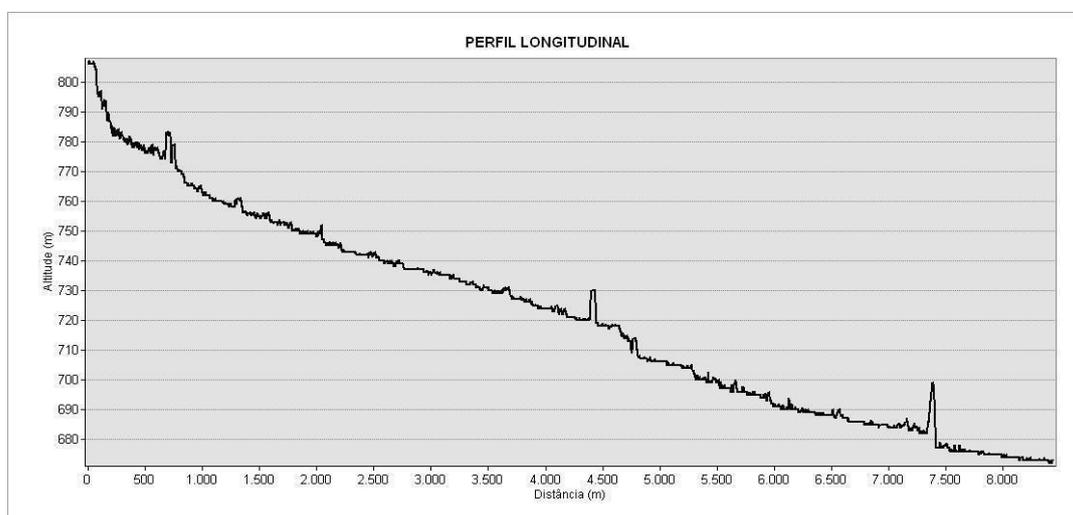


Figura 2 - Perfil Longitudinal do Córrego Barreiro. Fonte: Elaboração Própria.

## Análise Temporal do Uso e ocupação do Solo

Por meio da análise espaço-temporal, foi possível identificar as formas de uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Barreiro dos anos de 2006, 2012, 2016 e 2019, quantificadas na Tabela 2, que revela as alterações da paisagem nos quatro períodos analisados.

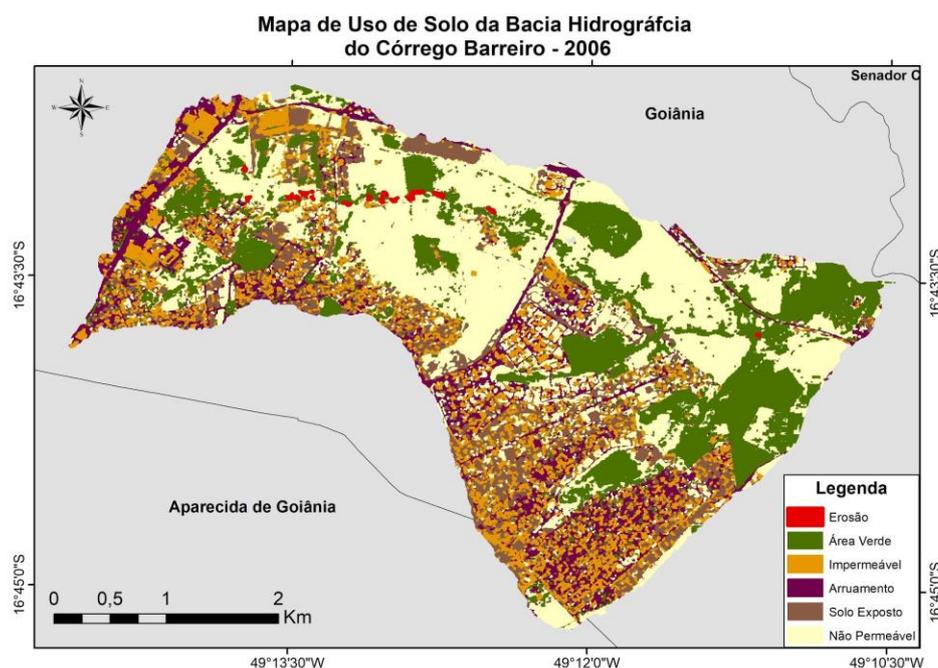
**Tabela 2** - Ocupação das classes de uso e ocupação do solo nos anos 2006, 2012, 2016 e 2019

Área (km <sup>2</sup> )	2006	2012	2016	2019	%2006	%2012	%2016	%2019
Arruamento	1,03	2,46	2,5	2,75	6,52	15,56	15,82	17,27
Não permeável	4,71	4,52	3,22	2,06	29,80	28,60	20,37	13,03
Impermeável	2,42	2,8	2,90	3,33	15,31	17,72	18,36	21,09
Área verde	4,78	2,58	3,17	2,69	30,24	16,32	20,06	17,02
Solo	2,84	3,41	3,93	4,90	17,97	21,56	24,88	31,00
Erosão (m <sup>2</sup> )	0,025	0,038	0,08	0,092	0,16	0,24	0,51	0,58
Valor total	15,80	15,80	15,80	15,80	100%	100%	100%	100%

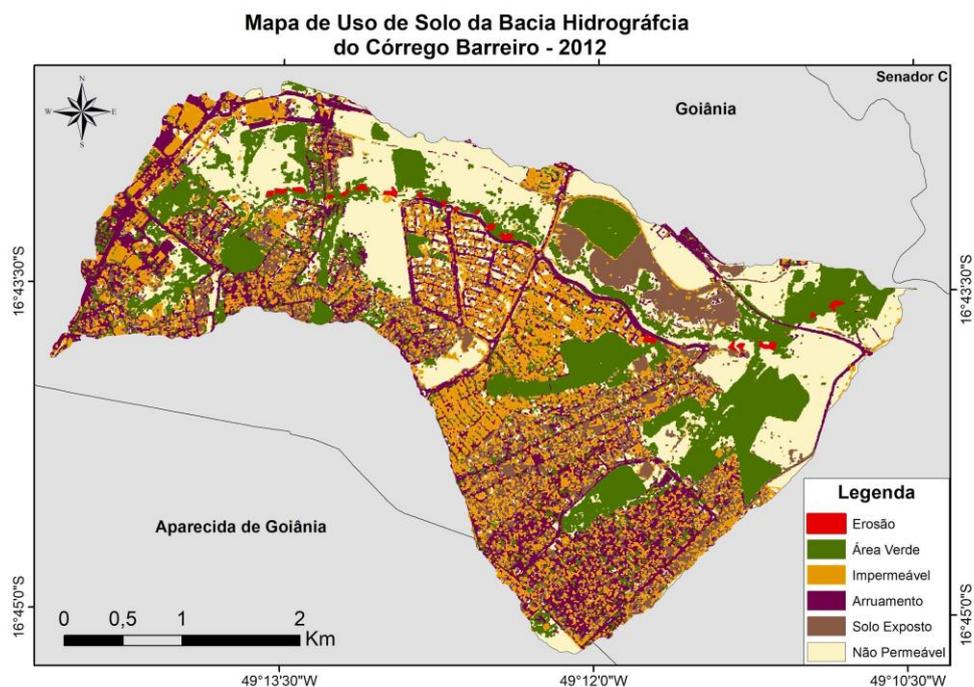
Fonte: Elaboração Própria.

A classificação do uso e cobertura do solo aponta o processo de urbanização que está ocorrendo na bacia hidrográfica do Córrego Barreiro com ampliação em área das classes de impermeável, arruamentos e de solo exposto com conseqüente diminuição das áreas permeáveis e áreas verdes e ampliação das áreas erodidas. À medida que o processo de urbanização avança, as erosões presentes na bacia hidrográfica tiveram um crescimento superior a 200% no intervalo de 2006 a 2019. As evidências desta pesquisa demonstram que este crescimento está fortemente relacionado à ocupação urbana acelerada na bacia.

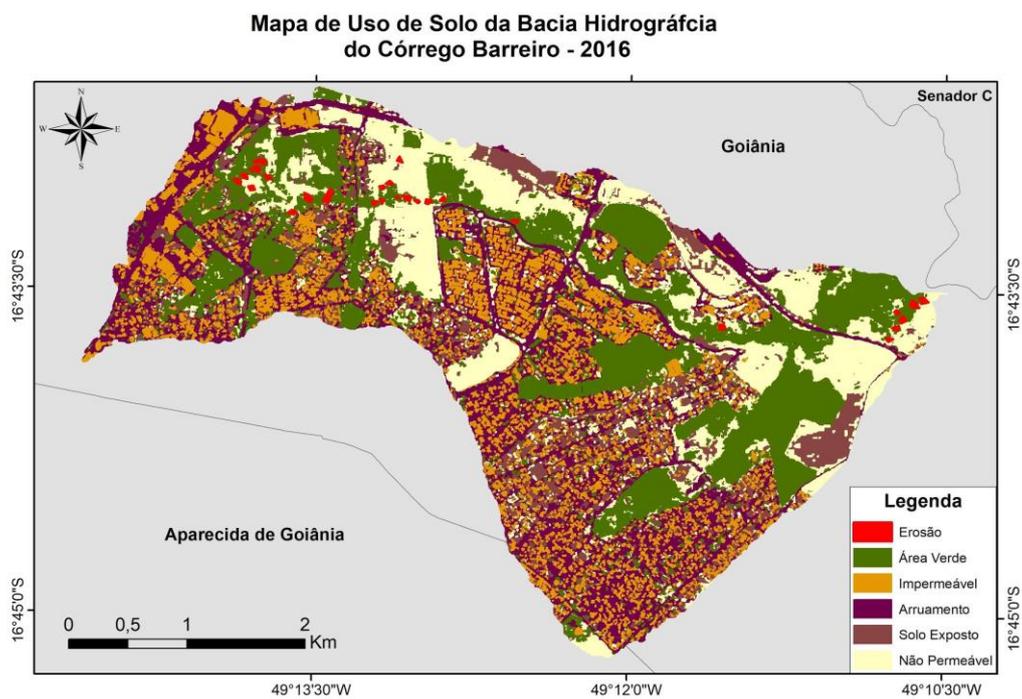
A análise espaço-temporal do uso e ocupação do solo (Figuras 3a a 3d) indica aumento significativo das áreas de solo exposto e impermeáveis em detrimento das áreas não-permeáveis (pastagem e áreas agrícolas) e de áreas verdes.



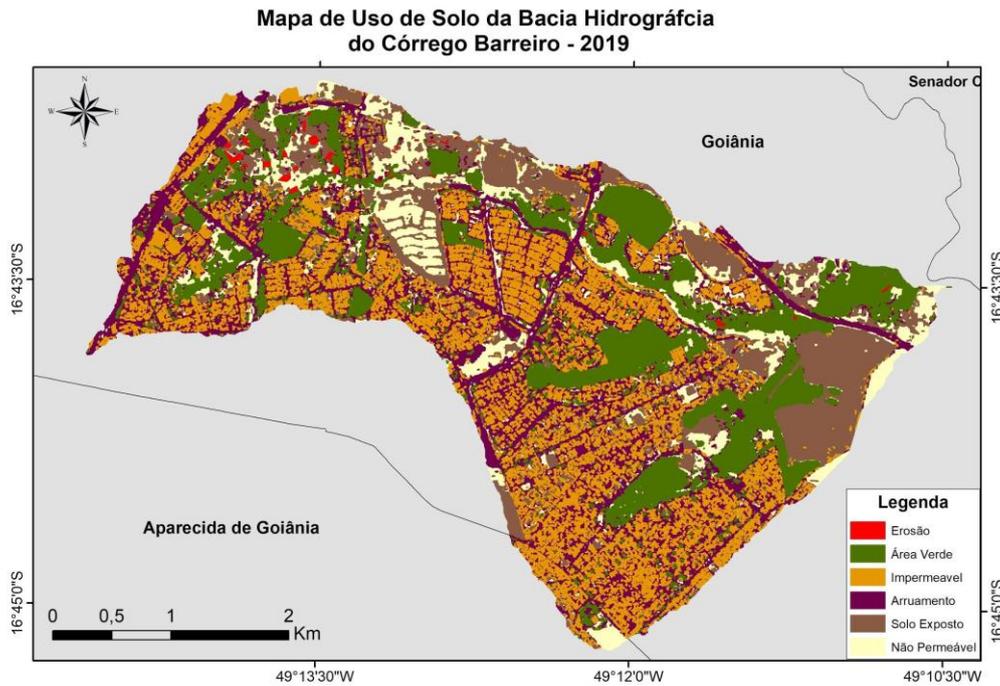
**Figura 3a** - Uso e ocupação do solo no ano de 2006. Fonte: Elaboração Própria.



**Figura 3b** - Uso e ocupação do solo no ano de 2012. Fonte: Elaboração Própria.



**Figura 3c** - Uso e ocupação do solo no ano de 2016. Fonte: Elaboração Própria.



A Figura 3a apresenta a espacialização do uso e cobertura do solo da bacia a partir da classificação supervisionada para o ano de 2006. No primeiro ano das análises existe na bacia uma região peri-urbana com alta concentração de áreas não permeáveis, principalmente pastagens e vegetação nativa. Apesar de ter um considerável número de áreas impermeáveis, o arruamento ainda não era muito representativo.

Entretanto, como exposto por Nascimento & Matias (2011), o processo de crescimento urbano influencia na organização do espaço urbano e em suas intervenções, ocorrendo melhorias nas vias de acesso e a ampliação de sua malha viária. Tal processo é observado nas análises realizadas nos mapeamentos a partir de 2012 e 2016 (Figuras 3b e 3c) quando a delimitação dos limites entre urbano e rural se desfaz em que criação e construção de setores habitacionais muda o cenário da bacia hidrográfica. Para Tucci & Collischonn (1998) o desenvolvimento da área urbanizada ocorre durante o processo de alteração de uso do solo. Áreas com florestas ou de campo dão lugar aos loteamentos nas periferias das cidades.

O início deste processo é precedido na bacia por extensa retirada da cobertura vegetal, movimentando volumes de terra e desestruturando a camada superficial de solo. Estas áreas são ocupadas com destaque para os condomínios horizontais e pode-se observar dois processos: a retirada da pastagem para a preparação do terreno, tendo um indicativo do crescimento da classe do solo exposto, como também a retirada de vegetação nativa no ano de 2012. Cabe destacar, no entanto, que em função da política ambiental do município de Goiânia, mesmo com a remoção da vegetação nativa, houve revegetação em áreas urbanas estratégicas que resultaram no crescimento da área verde em 2016, como pode-se observar na Figura 3c e na Tabela 2. Este processo se deve, principalmente, aos condomínios residenciais horizontais implantados na bacia hidrográfica que são responsáveis por modificações e delimitações de uma nova dinâmica urbana na bacia hidrográfica.

No último ano de análise (2019), a BHCb se tornou uma área urbana consolidada, tendo em vista o crescimento das áreas impermeáveis e arruamentos, assim como a significativa redução de áreas não permeáveis. Como as áreas impermeáveis e arruamento aumentam com o crescimento urbano, as erosões se tornam mais constantes na bacia hidrográfica devido ao escoamento superficial e ao saturamento da infiltração da água no solo.

Na análise do uso e cobertura do solo do ano de 2019 (Figura 3d), as classes de solo exposto e áreas impermeáveis são as classes avaliadas com maiores porcentagens, representando mais da metade da área

da bacia hidrográfica. Isto ocorre devido ao processo contínuo de construção dos condomínios horizontais nas áreas que anteriormente pertenciam às classes de não permeáveis e área verde. A região do estudo se confirmou como reduto destes empreendimentos. Bourdieu (2013) fala sobre a ocupação destes espaços que, de modo crescente, é destinado às camadas médias, onde é priorizado valores atrelados às suas condições de classe. Moura & Januzzi (2019) falam sobre os novos espaços da classe média, como as superquadras e condomínios em Brasília e como a classificação do espaço implica com diversas camadas de significado.

A consolidação do processo de urbanização da área da bacia vem a partir da análise das áreas de solo exposto, onde a vegetação nativa e as áreas de pastagens e agrícolas são retiradas para a viabilização de novos empreendimentos. Nascimento & Oliveira (2015) fizeram uma análise de uso e cobertura do solo para um intervalo de 24 anos, entre 1986 e 2010, onde é possível observar o crescimento urbano da capital do Estado de Goiás em detrimento da agropecuária e a cobertura vegetal presente em sua área, tendo uma expansão para o sul e sudoeste do município. Mendes & Lollo (2018) reportam impactos ambientais no crescimento da área urbana na cidade de São Carlos - SP, onde corpos hídricos foram assoreados, nascentes destruídas, vulnerabilidade em regiões de recarga de aquífero e alagamentos, ocasionadas pelo crescimento de áreas impermeabilizadas e pela eliminação da vegetação nativa.

É relevante destacar que se encontra na Tabela 3, com base no Coeficiente de Pearson<sup>1</sup>, uma forte relação entre arruamento e solo impermeável, como também entre solo impermeável e erosão, além de arruamento e erosão. Estas relações bivariadas apresentam coeficientes muito fortes (acima de 0,7<sup>2</sup>), indicando que existe forte associação entre uma variável e outra. Estes resultados corroboram com os achados neste estudo de que houve aumento do escoamento superficial, à medida que houve crescimento urbano na bacia.

**Tabela 3** - Coeficiente de Correlação de Pearson.

	Arruamento	Não Permeável	Impermeável	Área Verde	Solo	Erosão
Arruamento	1					
Não Permeável	-0.690233766	1				
Impermeável	0.941367191	-0.886355378	1			
Área Verde	-0.964303316	0.522002666	-0.857459873	1		
Solo	0.322121726	0.140252369	0.072584324	-0.269243417	1	
Erosão	0.773072052	-0.96673566	0.906013005	-0.589893176	0.11763	1

Fonte: Elaboração Própria.

Nesse processo, canais naturais são substituídos por condutos e estes aumentam a velocidade do volume escoado. O volume, ao chegar em seu afluente sem que haja uma forma de minimizar sua velocidade, pode trazer impactos relevantes ao canal, como a mudança de sua geometria, o aumento da seção transversal, erosão, carreamento de sedimentos e outros. Rocha et al (2018) apontam o crescimento urbano como uma das causas diretas nas alterações que ocorrem no solo, ocasionando as impermeabilizações, o aumento do volume escoado, fazendo com que a água pluvial chegue ao canal com maior velocidade, aumentando a possibilidade de erosão.

<sup>1</sup> O coeficiente de correlação de Pearson (r) é uma medida de associação linear entre variáveis. Ele é uma medida da variância compartilhada entre duas variáveis. Este coeficiente varia de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor indica a força da relação entre as variáveis. Uma correlação perfeita (-1 ou 1) induz a crer que a pontuação de uma variável pode ser determinado exatamente ao se saber a pontuação da outra. Já uma correlação de valor zero nos leva a acreditar que não há relação linear entre as variáveis. Assim, quanto mais perto de 1 (seja qual for o sinal) maior é o grau de dependência estatística linear entre as variáveis. No outro oposto, quanto mais próximo de zero, menor é a força dessa relação (Aldrich, 1995; Rasmussen, 2007; Kozak, 2009).

<sup>2</sup> De acordo com Dancey e Reidy (2006), r = 0,10 até 0,30 (fraco); r = 0,40 até 0,6 (moderado); r = 0,70 até 1 (forte).

Righetto et al. (2009) reforçam a importância de um sistema de drenagem bem projetado que traga benefícios indiretos para a população, como a redução de custos de construção e manutenção de vias e segurança pública, além de melhorias no tráfego durante as chuvas.

## Direção de fluxo

A European Environment Agency (2012) constatou que na morfologia e nos corpos d'água ocorrem mudanças relacionadas ao desenvolvimento urbano, tendo claros impactos na direção de fluxo do escoamento superficial, alterando o meio físico de uma bacia hidrográfica. Na Figura 4 pode-se analisar o mapa de direção de fluxo e suas direções na bacia, tendo a maior predominância de seu fluxo nos sentidos sul e noroeste. O acúmulo do fluxo se concentra nas regiões de menor altitude da bacia, sendo as regiões onde a rede de drenagem se encontra.

As direções de fluxo (Figura 4) foram encontradas a partir de seu relevo, porém ela não mensura as intervenções antrópicas presentes na bacia hidrográfica. As alterações no uso e cobertura da terra em bacias hidrográficas têm como resultado diversas mudanças nas características do escoamento superficial (SANTOS et al., 2015). A mudança do uso e ocupação do solo inerente ao crescimento das áreas urbanas e a difusão da impermeabilização do solo faz com que a água crie novos caminhos para o escoamento.

A falta de cobertura vegetal, em conjunto com a ação da chuva escoada, desagregam pequenas partículas do solo, gerando o carreamento das partículas sólidas diretamente ao curso d'água, contribuindo para o processo erosivo e o assoreamento do canal. Foster (1982) reforça a importância da cobertura vegetal como fator primordial na dissipação da energia de impacto das gotas da chuva na superfície do solo, podendo evitar a desagregação de suas partículas.

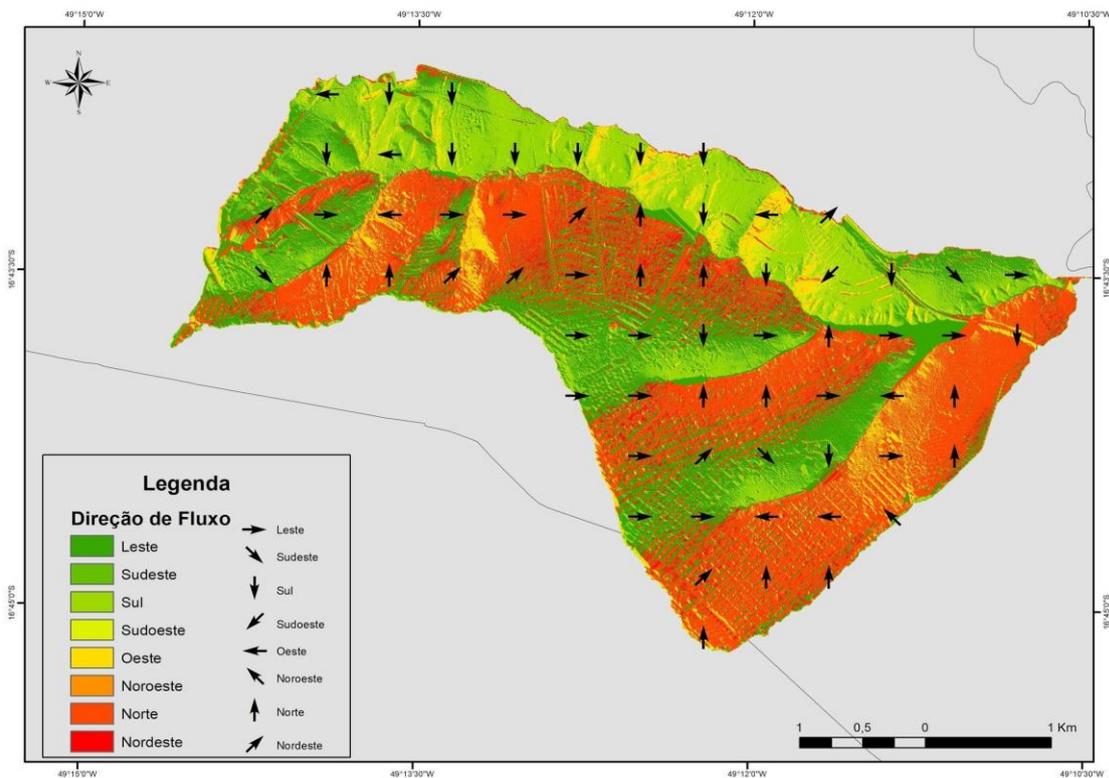


Figura 4 - Direção de fluxo. Fonte: Elaboração Própria.

Os diferentes usos e manejos que ocorrem no solo urbano mudam o cenário do escoamento superficial, este cenário é regido por variáveis como o relevo, cobertura da bacia, modificações artificiais nos rios, sua duração, intensidade e frequência. Para Menezes et al (2010), dependendo da intensidade do escoamento superficial, pode ocorrer degradação no solo, sedimentos conduzidos para cursos d'água e destruição de

estruturas urbanas e ambientes aquáticos. As classes de declividade do relevo têm influências no comportamento na bacia hidrográfica. Quanto mais declives, maiores serão os problemas relacionados com o escoamento superficial.

Na área de estudo, verifica-se um relevo com predominância de classe forte ondulado (Figura 5), de acordo com a classificação da Embrapa, de 2018. Assim, com a carência de vegetação, impermeabilização e outros fatores em conjunto a uma maior declividade, a água superficial tem sua velocidade de escoamento maior, submetendo a bacia a degradações.

Em conjunto com seu relevo na superfície física da bacia, ocorrem mudanças na forma do escoamento formando sulcos e ravinas onde o maior fluxo do escoamento ocorre. Nestes locais acontece uma maior tensão de cisalhamento, aumentando a capacidade de desagregação do solo e transportando grande quantidade do mesmo. Ao analisar a textura do relevo entre regiões próximas aos canais a rugosidade é mais acentuada (Figura 6) e o fluxo do escoamento segue no sentido do canal. O volume escoado é alto devido a saturação da água no solo ao infiltrá-lo e as mudanças antrópicas que ocorrem de forma permanentes na bacia. Tonello et al (2006), falam como a suscetibilidade à erosão do solo é resultado da velocidade que ocorre o escoamento superficial, sendo este intrinsecamente relacionado com o relevo.

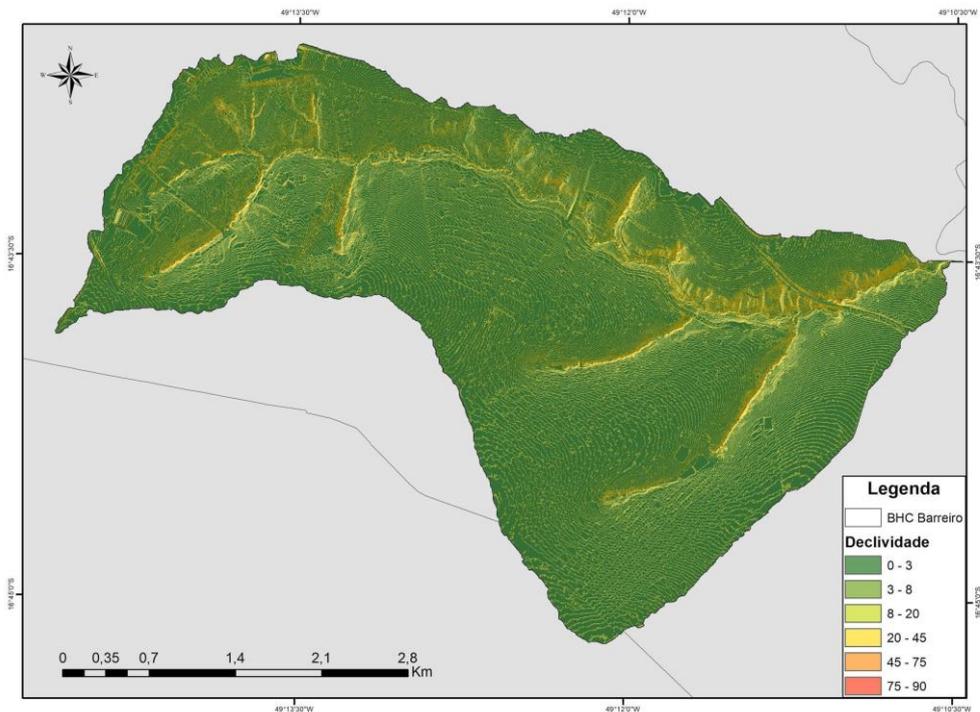


Figura 5 - Mapa de Declividade. Fonte: Elaboração Própria.

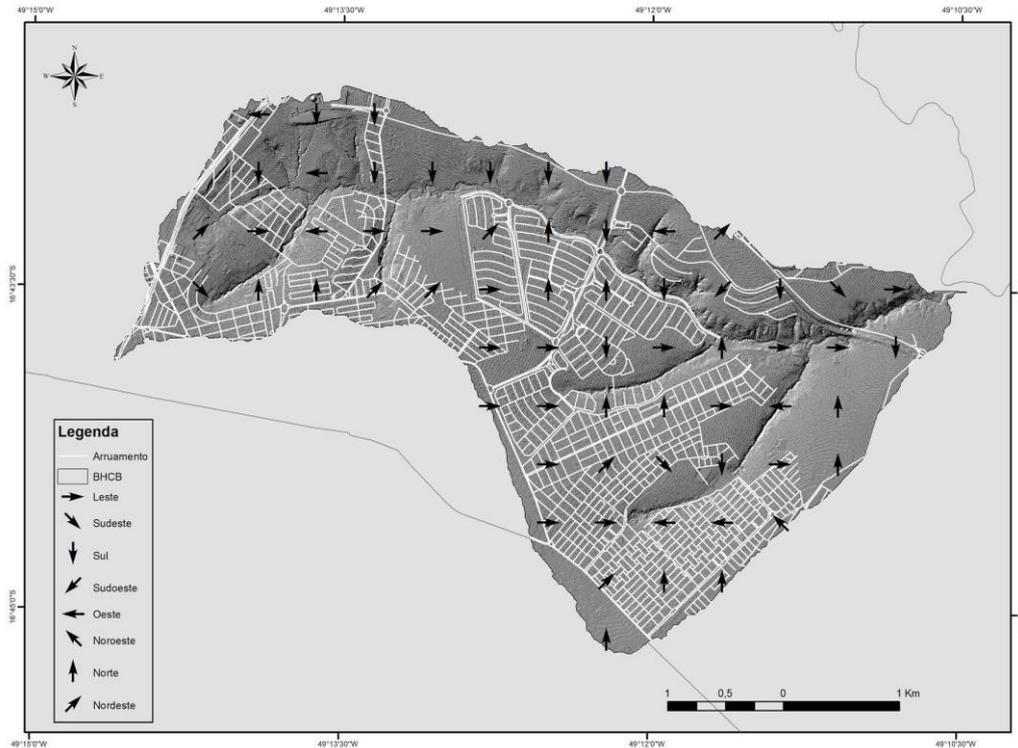


Figura 6 - Arruamento e direção de fluxo. Fonte: Elaboração Própria

## Padrões fluviais aspectos evolutivos da dinâmica fluvial

Apresentar a sinuosidade do canal é importante para entender os processos e evoluções de um sistema fluvial e sua interação com a paisagem.

No ano base das análises, 2006, o comprimento do canal principal (L) é igual a 8,85 km, e o comprimento em linha reta (Lr) do mesmo percurso foi de 6,39km, alcançando um índice de sinuosidade de 1,38. No ano de 2012, o comprimento L é de 9,1 km e o Lr de 6,40km, tendo o valor de IS encontrado de 1,42. Em 2016 o comprimento do canal principal é 9,61km e o segmento de linha reta foi de 6,41km, onde 1,50 foi o valor encontrado para o IS. Por fim, no ano de 2019 o comprimento do canal principal foi de 9,32 km, o Lr foi de 6,42km, sendo o índice de sinuosidade calculado para esse ano de 1,45.

Para Lana et al (2001), a análise da sinuosidade dos canais é feita através da influência da carga de sedimentos, compartimentação litológica, estruturação geológica e a declividade dos canais. De acordo com Schumm (1963), valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo. Valores acima de 2,0 indicam que os canais tendem a ser tortuosos. Já os valores intermediários apontam que o canal tem formas transicionais com trechos regulares e irregulares.

Ao comparar o índice de sinuosidade (IS) dos quatro períodos, pode-se concluir que o canal tem o mesmo comportamento morfológico para os períodos distintos. Ribeiro & Pereira (2013) encontraram um valor de 1,66 para o Ribeirão das Vargens, sendo este um curso d'água responsável por parte da drenagem urbana de Poços de Caldas. Aqui o resultado aponta que o canal é transicional, tendo trechos regulares e trechos irregulares, indicando coerência, pois parte do canal sofre diretamente com interferências antrópicas. Moura (2013) trabalhou com 15 bacias situadas no município de Caragatatuba, município do litoral norte de São Paulo, onde o índice de sinuosidade encontrado foi de 1,75, indicando ser um alto valor, ressaltando que os canais são irregulares com muitos meandros ao longo dos canais.

Nas Figuras 7 - 10 estão a base para o cálculo do índice de sinuosidade e também as mudanças na evolução no comportamento fluvial no intervalo analisado.

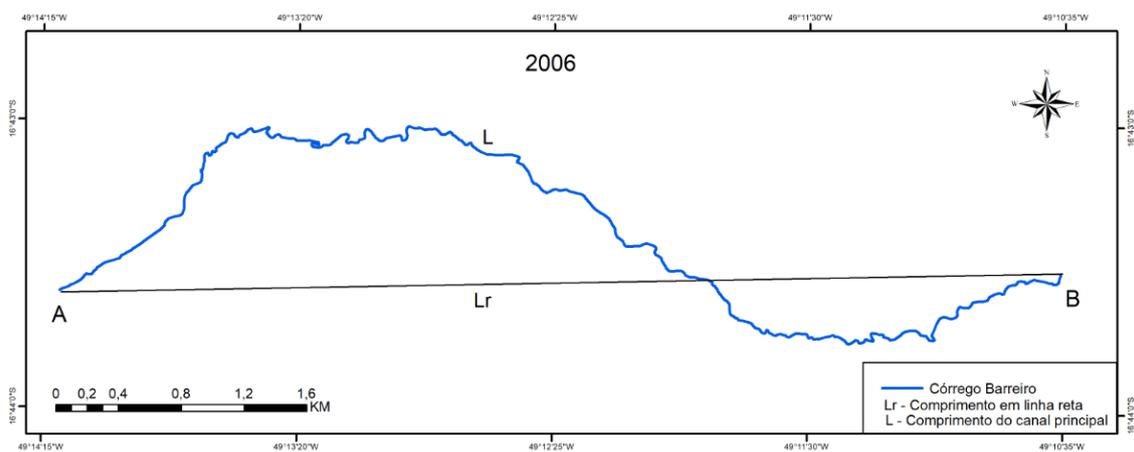


Figura 7 - Índice de sinuosidade do canal no ano de 2006. Fonte: Elaboração Própria.

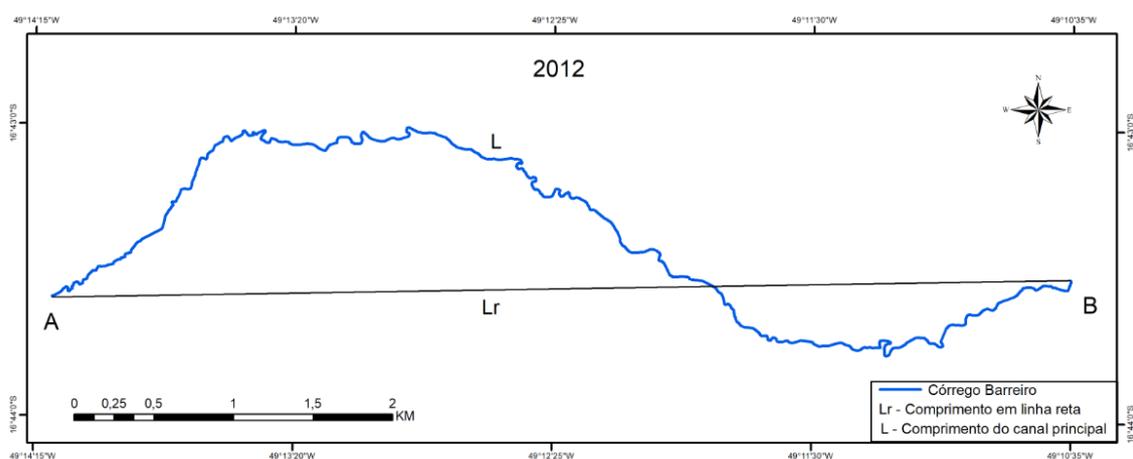


Figura 8 - Índice de sinuosidade do canal no ano de 2012. Fonte: Elaboração Própria.

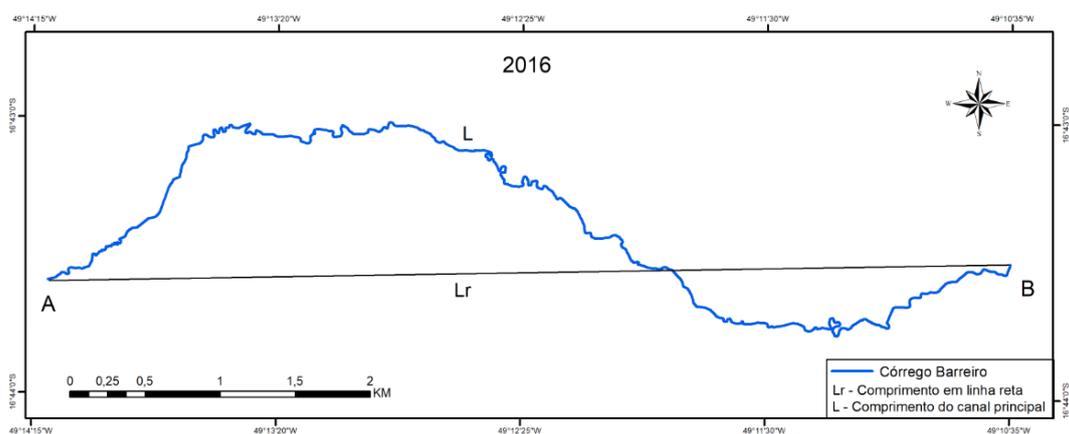


Figura 9 - Índice de sinuosidade do canal no ano de 2016. Fonte: Elaboração Própria.

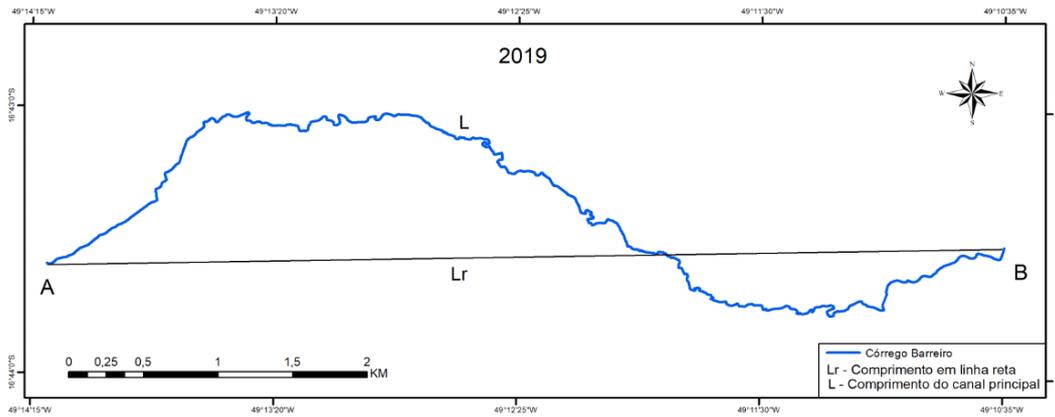


Figura 10 - Índice de sinuosidade do canal no ano de 2019. Fonte: Elaboração Própria.

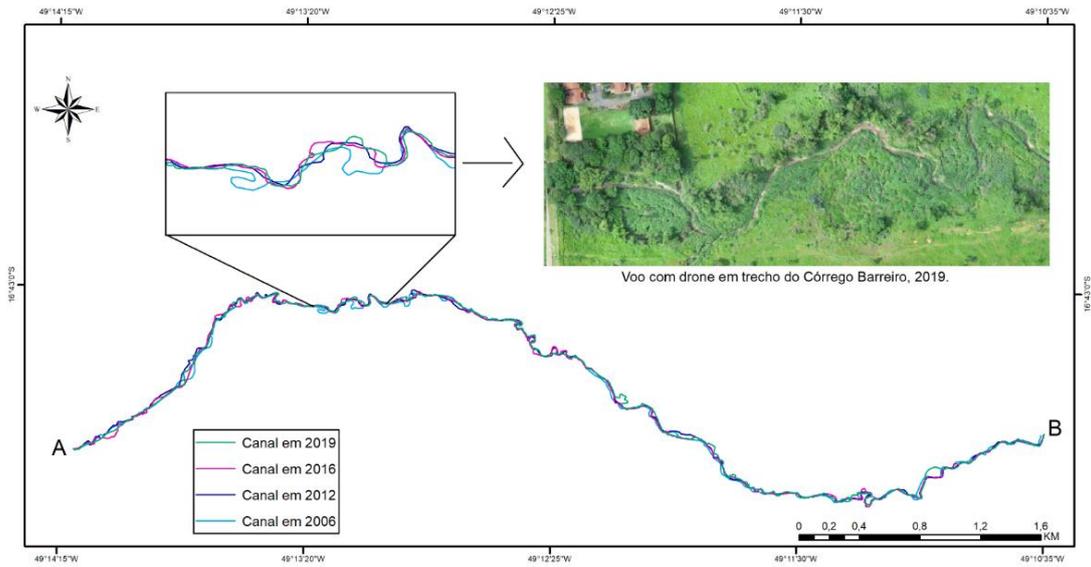
O índice de sinuosidade cresceu 2,29% em relação ao primeiro ano. Ao analisar o intervalo de 10 anos, o IS representou 28,57% do canal, tendo, em 2019, um recuo de 4% em relação ao ano inicial. Essas mudanças podem ser observadas na sobreposição dos anos analisados do canal do córrego Barreiro (Figura 11), nos 4 períodos analisados.

As mudanças que ocorreram na geometria do canal, modificando as formas meandradas e as formas lineares ao longo dos anos analisados, mostrou que o canal obteve diversos contornos. Tal processo está associado ao escoamento que transporta sedimentos para o canal, e estes vão deslocando ao longo deste, que, embora não apresente fortes meandros, se acumulam e são responsáveis pelas mudanças na geometria do canal.

Teixeira et al (2003) enfatizam que a carga de sedimento é um dos principais fatores que influencia a sinuosidade dos canais. Três fatores se destacam na constituição do processo da dinâmica fluvial do córrego Barreiro. Estes fatores estão interligados, sendo eles: a declividade da bacia, taxa de erosão das margens e quantidade de sedimentos (que é movimentada ao longo do canal).

Para Lana et al. (2001), a análise da sinuosidade dos canais é realizada através da influência da carga de sedimentos, compartimentação litológica, estruturação geológica e a declividade dos canais. De acordo com Schumm (1963), valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo, valores acima de 2,0 indicam que os canais tendem a ser tortuosos. Já os valores intermediários apontam que o canal tem formas transicionais com trechos regulares e irregulares. Ao comparar o índice de sinuosidade (IS) dos quatro períodos, pode-se concluir que o canal tem o mesmo comportamento morfológico para os períodos distintos.

A análise individual revela quais foram os comportamentos do canal nos diferentes períodos tempo, assim observa-se que ao longo de sua planície o Córrego Barreiro tem feições com características típicas de um sistema meândrico com presença da evolução do canal e seu dinamismo ao longo do tempo. As mudanças que ocorrem no canal nos anos de estudo podem ser visualizadas através de uma sobreposição dos canais, vide Figura 11 em que foi realizado um voo com drone.



**Figura 11** - Mapeamento do canal nos anos de 2006, 2012, 2016 e 2019. Em destaque trecho com alterações. Fonte: Elaboração Própria.

Na imagem é possível verificar as mudanças que ocorreram no traçado do canal, corroborando as análises realizadas, em que houve diferentes padrões fluviais. Os depósitos dos sedimentos da bacia se fazem presentes no canal, influenciando nos processos que ocorrem no canal.

A área impermeável está intimamente ligada ao arruamento, pois esta é a primeira etapa no processo de parcelamento e uso do solo. A formação natural do solo urbanos é modificada significativamente através da ação humana, causando impactos no espaço territorial e temporal (COSTA & PIRES, 2017). Com a compactação do solo ocorrem alterações em sua macroporosidade, levando a uma redução considerável na infiltração.

As raízes das plantas, junto com matérias orgânicas, servem como controle de erosão e proteção das encostas, mantendo um alto grau de agregação do solo no seu entorno, criando uma barreira natural contra o escoamento superficial e aumentando a capacidade de infiltração. Sem essa proteção o solo se desagrega e é removido das margens, sendo transportado e depositado ao longo do canal, potencializando o processo erosivo (Figuras 12 e 13).

Cadorin & Melo (2011) reforçam a importância que as árvores tenham condições saudáveis para seu desenvolvimento em meio urbano, permitindo que elas desempenhem suas funções na regulação do ciclo hidrológico, melhoria do clima e outros. A integridade das bacias hidrográficas pode ser comprometida a partir de seu uso e ocupação de forma inadequada (Nunes & Roig, 2015; Donadio et al., 2005).



**Figura 12** – Erosões nas encostas do Córrego Barreiro. Fonte: Elaboração Própria.



**Figura 13** – Erosões nas encostas do Córrego Barreiro. Fonte: Elaboração Própria.

### Análise Granulométrica do material

A avaliação do comportamento granulométrico das amostras (Figura 14) indica que os valores de argila não são superiores a 10% com predomínio de material franco-arenoso, apenas uma amostra corresponde à textura de areia franca.

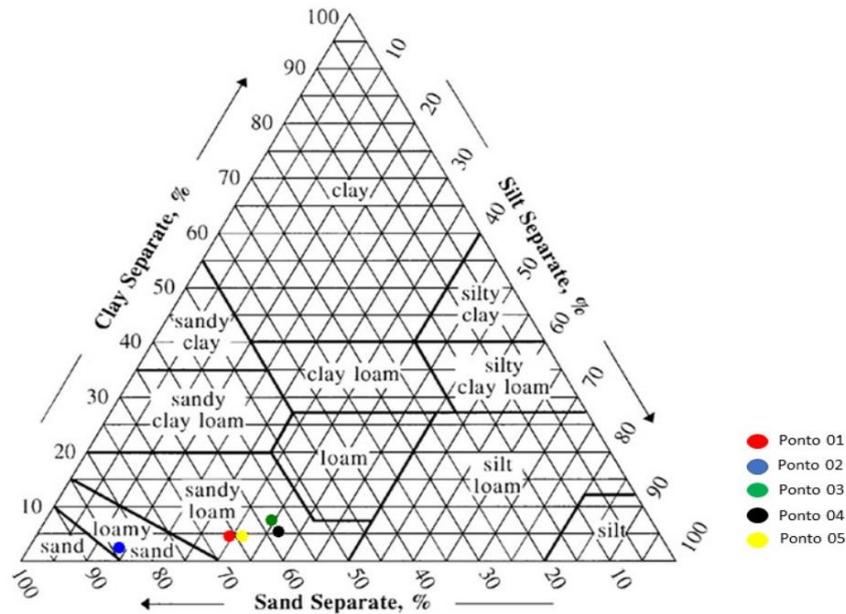


Figura 14 – Análise granulométrica do solo. Fonte: Elaboração Própria.

Nas 5 primeiras amostras, a areia (fina, média e grossa) é o material mais encontrado, seguido pelo silte. As partículas de silte não são visíveis a olho nu e têm uma sensação sedosa, diferente da areia. Seus poros também se diferenciam dos poros da areia, pois são menores e mais numerosos. Dessa forma ele retém mais água que a areia. Porém, como ocorre com a areia, o silte também é transportado e não se agrega. O silte em maior quantidade que a areia e a argila indicam que pode estar relacionado com a grande movimentação dessas partículas no solo nas planícies aluviais (Santos et al., 2012).

A areia fina e o silte dominam as frações das texturas analisadas nas duas campanhas realizadas. Esses materiais favorecem uma maior erodibilidade no canal. A areia é um material não coesivo, com baixo teor de infiltração e percolação, contém partículas que não se agregam facilmente nas encostas, sendo transportadas com facilidade e tendo a textura mais crítica para erosão ocorrer. Sua alta concentração e a falta de uma mata ciliar são fatores que aumentam a erosividade do canal. Sem a proteção das raízes, a encosta não tem força para se manter. A falta da APP das margens do córrego deixam o canal exposto ao escoamento superficial concentrado e ajuda no aceleração do assoreamento do canal. O escoamento superficial, associado com a impermeabilização da bacia, a falta de raízes profundas e as margens sem a proteção da mata ciliar, em conjunto com o arruamento direcionando e o fluxo do escoamento para o córrego Barreiro, são fatores que influenciam o processo erosivo, onde a textura do solo acelera esses processos.

## Conclusão

As análises das mudanças do uso e ocupação do solo da bacia entre os anos de 2006 e 2019 retratam um aumento das áreas urbanizadas e impermeabilizadas, redução significativa de áreas de solo não permeável e de áreas com vegetação nativa. Pela análise temporal, é perceptível ver as mudanças que ocorrem no uso e cobertura do solo da bacia em função da dinâmica urbana do município de Goiânia. Porém essa dinâmica impacta na cobertura vegetal nativa, aumenta a impermeabilização alterando o escoamento superficial.

As encostas do córrego Barreiro estão desprotegidas sem a presença de mata ciliar, não sendo possível conter o volume de água que esco para o canal. Com esse volume ocorrem alterações no curso d'água, como

erosões e assoreamento. Além disso, podemos concluir que as mudanças da dinâmica fluvial do canal que ocorreram nos anos analisados têm influências diretas desse processo.

A análise granulométrica mostrou mais presença de areia e silte do que argila nas margens do talude do Córrego Barreiro. Esse resultado indica que no talude do canal de drenagem o processo de erosão vai ocorrer, pois é a característica da textura presente no canal.

Isso confirma que a geometria do canal está em constante mudança, e sem a APP o solo não tem como se manter, o escoamento não tem sua velocidade atenuada sem a presença de cobertura vegetal, que desce ao solo com mais força. Da mesma forma, as raízes proporcionam uma penetração fácil da água evitando que minerais e substâncias orgânicas sejam carregadas, além de facilitar no processo de infiltração as raízes que permitem uma maior resistência ao solo. É necessária a implementação de medidas estruturais e não estruturais para a prevenção e minimizar os impactos que ocorrem devido às mudanças da dinâmica fluvial, ocupação das áreas declivosas e o escoamento superficial, e o reforço da recomposição da APP.

## Agradecimentos

A primeira autora agradece à agência de fomento CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) no desenvolvimento deste trabalho, através da concessão de bolsa de pesquisa.

## Referências

- Aldrich, J. (1995). Correlations genuine and spurious in Pearson and Yule. *Statistical science*, 10(4), 364-376.
- Agência Municipal Do Meio Ambiente (AMMA) (2008). *Diagnóstico Ambiental Preliminar da Sub-bacia do Córrego Barreiro Goiânia – Goiás*. Goiânia, GO.
- Araújo L. C., Oliveira R. T., Rodrigues B. F., Vale B. D. (2016). Estudo da Suscetibilidade a Processos Erosivos nos Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Anil no Município de São Luís – MA. *In Simpósio Nacional de Geomorfologia XI*, Maringá.
- Bortoluzzi, E. C., & Poletto, C. (2006). Metodologias para estudos de sedimentos: ênfase na proporção e na natureza mineralógica das partículas. *In MERTEN, G. H & POLETO, C. (orgs.), Qualidade de sedimentos*. Porto Alegre, ABRH, 80-140.
- Bourdieu, P. (2013). *A Distinção: crítica social do julgamento*. rev. 2. Reimpr. Porto Alegre, RS: Zouk.
- Brasil. (1997, 8 de janeiro). *Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União.
- Cadorin, D. A. & Mello, N. A. (2011). Efeitos da impermeabilização dos solos sobre a arborização no município de Pato Branco-PR. *Synergismus scyentifica*, Pato Branco, 6(1), 1-8.
- Carvalho, D., Silva, L. D. Ciclo Hidrológico. *In Carvalho, D., Silva, L. D. Apostila De*, 2006.
- Christofoletti, A. (1974). Geomorfologia. Ed. Edgard Blucher Ltda e EDUSP. 149 p.
- Chin, A., & Gregory, K. J. (2001). Urbanization and adjustment of ephemeral stream channels. *Annals of the Association of American Geographers*, 91(4), 595-608.
- Cordeiro, M. R. A. (2009). *Estudo da influência da urbanização na condição hídrica da Bacia do Rio do Cobre-Salvador-Bahia* (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Costa, M. I. F., & Pires, M. G. (2017). Levantamento dos impactos ambientais em áreas de preservação permanentes (APPS) urbanas em Porangatu-GO. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, 13(6).
- Crósta, A. P. (1999). *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. UNICAMP/Instituto de Geociências.
- Dancey, C. P., & Reidy, J. (2006). *Estatística sem matemática para psicologia: usando SPSS para Windows*: Artmed.
- de Lao Oliveira, L. A., Gonçalves, R. M. R., & Martins, F. P. F. (2010). Contraste de condutividade hidráulica em solos de texturas arenosa e argilosa encontrados nos tributários da margem esquerda do rio tijuco, município de Ituiutaba (MG). *Caminhos de Geografia*, 11(33).

- Moura, C. A. (2013). Avaliação de tendência a enchentes das bacias hidrográficas do município de Caraguatatuba (SP). *Revista de Geografia (UFPE)*, 30(2).
- Moura, C. P., & Januzzi, V. P. (2019). Brasília classificada: novos espaços de classe média na capital federal. *Tempo Social*, 31(1), 113-134.
- Donadio, N. M., Galbiatti, J. A., & Paula, R. C. D. (2005). Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil. *Engenharia Agrícola*, 25(1), 115-125.
- dos Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Dos Anjos, L. H. C., De Oliveira, V. A., Lumbrreras, J. F., Coelho, M. R., & Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- Santos, M. G., Lobon, G. S., Ferreira, N. C., & Scalize, P. S. (2015). Análise evolutiva de processo erosivo acelerado em uma área urbana da cidade de Goiânia. *Revista Monografias Ambientais*, 14(2), 38-48.
- European Environment Agency. (2012). *Water resources in Europe in the context of vulnerability: state of water assessment*.
- Foster, G. R. (1982). Modelling the erosion process. In Haan, C. T., Johnson, H. D., Brakensiek, D. L. (Ed.), *Hydrologic modeling of small watersheds* (p. 297-380). St. Joseph: ASAE.
- Glaser, R., Riemann, D., Schönbein, J., Barriendos, M., Brázdil, R., Bertolin, C., & Enzi, S. (2010). The variability of European floods since AD 1500. *Climatic change*, 101(1-2), 235-256.
- Goiânia. Lei Complementar nº. 171, de 29 de maio de 2007. Institui o Plano Diretor Participativo de Goiânia.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological society of America bulletin*, v. 56, n. 3, 275-370.
- Jenson, S. K., & Domingue, J. O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 54(11), 1593-1600.
- Kang, R. S., & Marston, R. A. (2006). Geomorphic effects of rural-to-urban land use conversion on three streams in the Central Redbed Plains of Oklahoma. *Geomorphology*, 79(3-4), 488-506.
- Klein, V. A. (2014). *Física do solo*. (3.ed.) Passo Fundo: UPF Editora.
- Kozak, M. (2009). What is strong correlation? *Teaching Statistics*, 31(3), 85-86.
- Lana, C. E., Alves, J. M. D. P., & Castro, P. D. T. A. (2001). Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG-Brasil. *Rem: Revista Escola de Minas*, 54(2), 121-126.
- Lima, W. De P. (1986). Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas. Recuperado em agosto de 2018, de <http://www.faesb.edu.br/biblioteca/wp-content/uploads/2017/09/hidrologia1.pdf>.
- Matos, C., Bento, R., & Bentes, I. (2015). Urban Land-Cover, Urbanization Type and Implications for Storm Water Quality: Vila Real as a Case Study. *J Hydrogeol Hydrol Eng*, 4(2).
- Meneses, P. R., & Almeida, T. D. (2012). *Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. Brasília: Universidade de Brasília.
- Menezes, P. H. B. J., Roig, H. L., de Almeida, T., Neto, G. B. S., & Isaias, F. B. (2010). Análise Da Evolução Do Padrão De Uso E Ocupação Do Solo Na Bacia De Contribuição Do Lago Paranoá-Df. *Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia*, 8(1), 88-106.
- Miller, V. C. (1953). Quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. *Technical report* (Columbia University. Department of Geology), 3.
- Nascimento, D. T. F., & de Oliveira, I. J. (2015). Mapeamento do processo histórico de expansão urbana do município de Goiânia-GO. *GEOgraphia*, 17(34), 141-167.
- Nascimento, E., & Matias, L. F. (2011). Expansão urbana e desigualdade socioespacial: uma análise da cidade de Ponta Grossa (PR). *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, 23.
- Nunes, J. F., & Roig, H. L. (2015). Análise e mapeamento do uso e ocupação do solo da bacia do alto do descoberto, DF/GO, por meio de classificação automática baseada em regras e lógica nebulosa. *Rev. Árvore*, 39(1).
- Oliveira, W. N.; Barbosa, Z. N. T.; Ferreira, N. C. Análise multitemporal para o monitoramento ambiental de drenagens urbanas nos municípios de Goiânia e Aparecida de Goiânia-GO. *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, XIX, 2011, Maceió: ABRH.

- Prefeitura De Goiânia. (2007, 29 de maio). *Lei Complementar nº 171 de 29 de maio de 2007*. Dispõe sobre o Plano Diretor e o processo de planejamento urbano do município de Goiânia e dá outras providências.
- Rasmussen, K. (2007). *Encyclopedia of measurement and statistics* (Vol. 1). Sage.
- Rennó, C. D., Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Soares, J. V., Hodnett, M. G., & Tomasella, J. (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, 112(9), 3469-3481.
- Ribeiro, G. F., & Pereira, S. Y. (2013). *Análise morfométrica da bacia hidrográfica Vargens de Caldas, Planalto de Poços de Caldas*. Minas Gerais: Terræ.
- Righetto, A. M., Moreira, L. F. F., & Sales, T. D. (2009). Manejo de águas pluviais urbanas. *Rio de Janeiro: ABES*.
- Rocha, W. S., Pasqualetto, A., dos Santos, G. M., Mendes, T. A., & dos Santos, H. I. (2018). Erosão Urbana: Microbacia do Córrego Olho D'água, Município de Goiânia, Goiás. *Revista Baru-Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos*, 4(1), 64-76.
- Rodrigues, C., & Gouveia, I. M. C. (2013). Importância do fator antrópico na redefinição de processos geomorfológicos e riscos associados em áreas urbanizadas do meio tropical úmido. Exemplos na Grande São Paulo. In Guerra A. J. T., & Jorge, M. C. O. *Processos Erosivos e Recuperação de Áreas Degradadas* (p. 01-192). 1ªed. São Paulo: Oficina de Textos.
- Romero, V., Formiga, K. T. M., Marcuzzo, F. F. N. (2017). Estudo Hidromorfológico De Bacia Hidrográfica Urbana Em Goiânia/GO. *Ciência E Natura*, 39, 320, 2017.
- Sander, C., Gasparetto, N. V. L., dos Santos, M. L., & de Carvalho, T. M. (2015). Características do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Branco, estado de Roraima. *Acta Geográfica*, 8(17), 86-98.
- Santos, K. S., Montenegro, A. A., Almeida, B. G. D., Montenegro, S. M., Andrade, T. D. S., & Júnior, F. (2012). Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(8), 828-835.
- Santos, L. S.; Gutierrez, C. B. B.; Dias, N. M.; Pontes, A. N. (2015). Análise Espacial na Gestão de Recursos Hídricos: Bacia Hidrográfica do Rio Uriboca, Belém, Pará. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia*, 11(22).
- Scalenghe, R., & Marsan, F. A. (2009). The anthropogenic sealing of soils in urban areas. *Landscape and urban planning*, 90(1-2), 1-10.
- Schumm, S. A. (1963). Sinuosity of alluvial rivers on the Great Plains. *Geological Society of America Bulletin*, 74(9), 1089-1100.
- Shikangalah, R. N., Jeltsch, F., Blaum, N., & Mueller, E. N. (2016). A review on urban soil water erosion. *JSHSS*, 5(1).
- Sörensen, J., & Mobini, S. (2017). Pluvial, urban flood mechanisms and characteristics—assessment based on insurance claims. *Journal of hydrology*, 555, 51-67.
- Sousa, M. E., da Silva Santos Filho, N. E., Pereira, L. A., & de Barros Lyra, L. H. (2013). Monitoramento E Caracterização Do Assoreamento No Rio São Francisco Nas Orlas Urbanas De Petrolina-Pe E Juazeiro-Ba (Monitoring and characterization of river sedimentation in São Francisco in urban edges of Petrolina-PE and Juazeiro-BA). *Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)*, 15(1).
- Stanganini, F. N., & Lollo, J. A. D. (2018). O crescimento da área urbana da cidade de São Carlos/SP entre os anos de 2010 e 2015: o avanço da degradação ambiental. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 10, 118-128.
- Stevaux, J.C; Latrubesse, E. M. (2017). *Geomorfologia Fluvial*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 38(6), 913-920.
- Teixeira, W., Toledo, M., Fairchild, C. M., Thomas R., Taioli, F. (orgs.) (2003). *Decifrando a Terra*. São Paulo. Oficina de Textos.
- Tonello, K. C., Dias, H. C. T., Souza, A. L. D., Ribeiro, C. A. A. S., & Leite, F. P. (2006). Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. *Revista Árvore*, 30(5), 849-857.
- Tucci, C. E., & Collischonn, W. (1998). Drenagem urbana e controle de erosão. In *VI Simpósio nacional de controle da erosão, Presidente Prudente*, São Paulo.

United Nations. (2018). 2018. Revision Of World Urbanization Prospects.

Villela, S.M., Mattos, A. (1975). *Hidrologia aplicada*. São Paulo: Mcgraw Hill, 1975.

Yang, J., Li, S., & Lu, H. (2019). Quantitative influence of land-use changes and urban expansion intensity on landscape pattern in Qingdao, China: Implications for urban sustainability. *Sustainability*, 11(21), 6174.

---

**Editor responsável:** Harry Bollmann

Recebido: 17 fev. 2020

Aprovado: 18 fev. 2021