



Escoamento Superficial em uma Pequena Bacia Hidrográfica Rural da Amazônia

Runnf in a small rural amazon catchment

Rodrigo Silvano Silva Rodrigues¹
Germana Menescal Bittencourt²
Lindemberg Lima Fernandes³

Recebido em julho de 2017.
Aprovado em novembro de 2017.

RESUMO

Este trabalho verifica a evolução do uso e cobertura do solo e estima coeficientes de escoamento superficial (C) na microbacia hidrográfica do igarapé da Prata, localizada no município de Capitão Poço/PA. Foram utilizadas imagens do sensor TM/Landsat 5 entre os anos de 1984 a 2010, onde foram classificadas e quantificadas as áreas, com auxílio de software geoprocessamento. De posse da discriminação destas áreas, estimou-se o coeficiente de escoamento superficial sob duas óticas: estimativa empírica por valores tabelados encontrados na literatura considerando tipo de solo, cobertura e declividade; e o cálculo da vazão de escoamento pelo método NRCS, utilizando como base uma equação local de chuvas intensas e valores de Número de Curva (CN) para a discriminação das áreas no ano de 2010. Em uma visão geral, entre o ano de 1984 e 2010, houve redução das áreas de matas (-3,60%) e terras cultivadas (-13,70%), e aumento nas áreas de pastagem (17,30%). Pela estimativa empírica, nos anos analisados a média do C para a microbacia é de 0,425, ou seja, 42,5% do volume de precipitações pluviométricas escoam superficialmente. Pelo método NRCS foram alcançados valores de C em uma faixa de 0,33 a 0,52, dependendo do período de retorno da precipitação local; contudo, para 10 anos de tempo de recorrência, o C foi de 0,42, mostrando que ambas metodologias apresentaram valores próximos. A bacia do igarapé da Prata apresenta boa infiltração, característica de áreas rurais, em função de seu coeficiente de escoamento superficial ser baixo.

PALAVRAS-CHAVE: Hidrologia. Manejo de bacias hidrográficas. Uso e cobertura do solo.

¹Professor Substituto do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará. Mestre em Engenharia Civil - Área de Concentração em Engenharia Hídrica pela Universidade Federal do Pará. Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - UFPA. E-mail: r SSR@ufpa.br

²Professora Associada do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará. Doutora em Engenharia Civil - Área de Concentração em Recursos Hídricos. E-mail: menescal@ufpa.br

³Professor Associado do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará. Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido. E-mail: lberge@ufpa.br

ABSTRACT

This paper verifies the evolution of land use and cover and estimates the surface runoff coefficient (C) in the Prata catchment, rural Amazonian area in the municipality of Capitão Poço, State of Pará. With the aid of software geoprocessing, from TM / Landsat 5 sensor images for years from 1984 to 2010, the areas were classified and quantified, because it is a rural locality with agricultural activities, in forest (primary and secondary), cultivated lands and pastures. Based on the discrimination of these areas, the C was estimated from two perspectives: empirical estimation by tabulated values found in the literature considering soil type, cover and slope; and the calculation of the flow rate by the NRCS method, using as basis a local equation of intense rains and values of Curve Number (CN) for the discrimination of areas in the year of 2010. Between 1984 and 2010, there was a reduction of forest areas (-3.60%) and cultivated land (-13.70%), and an increase in pasture areas (17.30%). By the empirical estimate, in the analyzed years the mean of the C for the catchment indicates that 42.5% of the rainfall volume becomes the surface runoff. By the NRCS method, C values were reached in a range of 0.33 to 0.52, depending on the period of return of the local precipitation; however, for 10 years of period of return, the C was 0.42, showing that both methodologies presented close values. The Prata catchment presents good infiltration, characteristic of rural areas, due to its low runoff coefficient

KEYWORDS: Hydrology. Watersheds management. Use and soil cover

* * *

Introdução

A hidrologia desempenha um papel fundamental na produtividade de diferentes biomas, incluindo a terra de uso agrícola. Portanto para a gestão dos ecossistemas é fundamental compreender as influências mais relevantes aos processos hidrológicos (YU *et al.*, 2016).

O escoamento superficial da água é um processo hidrológico que pode gerar grandes danos, incluindo fenômenos como a erosão do solo, inundações de rios, fluxos de lama e detritos, afetando o ambiente através da perda de solo e da transferência de poluentes contidos nos solos; definido como a água da precipitação que não se infiltra no solo e flui na superfície até atingir um rio permanente (LAGADEC *et al.*, 2016).

Ainda de acordo com Lagadec *et al.* (2016), podem-se distinguir dois processos de geração de escoamento superficial: infiltração de excesso de fluxo terrestre, quando a intensidade da chuva é maior que a capacidade de

infiltração do solo, denominada escoamento Hortoniano (HORTON, 1933); E saturação por via terrestre, quando a capacidade de armazenamento do solo é limitada ou o solo já está saturado (HEWLETT; HIBBERT, 1967). Estes processos são difíceis de observar no campo porque ocorrem rapidamente e podem ocorrer simultaneamente (CROS-CAYOT, 1996). Em termos gerais, o escoamento superficial é um fenômeno difícil de medir (DEHOTIN *et al.*, 2015).

Iniciada a precipitação pluviométrica, parte dela é interceptada pela vegetação, parte infiltra no solo e parte pode ser retida em depressões da superfície do terreno. Se a duração da chuva continuar, após o preenchimento dessas depressões, terá início o escoamento superficial propriamente dito. Assim, a água que escoar sobre a superfície do solo, sem infiltrar, formará a enxurrada que irá compor, junto com o escoamento de base, os córregos, ribeirões, rios, lagos e reservatórios (CHOW *et al.*, 1988).

A variação da vazão de um curso de água, decorrente de precipitação ocorrida na bacia de contribuição correspondente, pode ser avaliada, por exemplo, por meio de aparelhos apropriados, como os linígrafos, que registram as alturas das lâminas de água no decorrer do tempo (TUCCI, 2002).

Conhecer o ambiente físico é essencial para subsidiar o processo de ocupação e manejo das bacias hidrográficas, reconhecendo áreas de fragilidade natural e potencializadas pelo antropismo; sendo assim, conhecer as características morfométricas e físicas de uma unidade geoambiental permite o planejamento da ocupação do espaço de maneira mais sustentável (ALVES *et al.*, 2014).

Segundo a Política Nacional dos Recursos Hídricos, Lei n. 9433 (BRASIL, 1997), a bacia de drenagem é o instrumento de gestão nos planos de recursos hídricos elaborados para bacias, estados e para o país e serve para o planejamento das intervenções humanas.

No contexto da Amazônia Legal, o crescente processo de ocupação rural e urbana de forma desordenada, tem gerado impactos ambientais de

difícil ou nenhuma solução (SANTOS, 2013). O mau uso do solo pode provocar impactos ao meio ambiente, como os processos de erosão intensa, impermeabilização do solo, perda de biodiversidade, inundações, assoreamentos de reservatórios e cursos d'água (SANTOS; SANTOS, 2010; VAEZA *et al.*, 2010). Segundo Moreira (2008) a alteração da paisagem e do uso da terra da Amazônia deve-se principalmente à aplicação de técnicas agropecuárias e de mineração, nem sempre próprias para o ambiente amazônico.

Uma forma de gerenciar a dinâmica de uso e cobertura do solo se dá por meio da utilização de geotecnologias. Sensoriamento remoto pode ser definido pelas atividades baseadas na obtenção e diagnóstico de informações adquiridas por sistemas fotográficos ou opticoeletrônicos, os quais detectam e armazenam a radiação emitida ou refletida de um objeto (NOVO, 2002). Diversos autores associam ferramentas de geoprocessamento ao mapeamento do uso e cobertura do solo (RIBEIRO *et al.*, 2011; HIRYE *et al.*, 2015; ANDRADE *et al.*, 2016).

Para Bordalo (2017), mesmo com o cenário amazônico marcado por uma significativa riqueza hídrica (superficial, atmosférica e subterrânea) e uma população rural e urbana extremamente vinculada aos rios, lagos e igarapés, mais da metade da população amazônica em 2008 ainda estava sujeita a consumir água de má qualidade, ou até mesmo não tinha acesso a ela; a crise da água na Amazônia brasileira não é causada pela baixa disponibilidade hídrica, é causada pela má de gestão de nossos recursos hídricos, bem como decorrente do baixo investimento financeiro e tecnológico.

Com a necessidade de um planejamento de uso da terra, por órgãos gestores, é de grande importância a disponibilidade de informações fidedignas da estrutura atual do espaço geográfico (CAMPOS *et al.*, 2010).

Segundo Nascimento e Fernandes (2017), a bacia do igarapé da Prata durante os anos teve a sua vegetação natural bastante modificada o que a caracteriza como uma área consideravelmente antropizada, apresentando

um intenso uso do solo pelas práticas agropecuárias. Compreendendo a importância de se alcançar informações a respeito das áreas na Amazônia Legal, o objetivo deste trabalho foi estimar valores de coeficiente de escoamento superficial na bacia hidrográfica do igarapé da Prata-PA, e posteriormente analisar a evolução destes valores associada à dinâmica de uso e cobertura do solo.

2 Materiais e Métodos

A pesquisa foi realizada na bacia hidrográfica do igarapé da Prata, área rural localizada no município de Capitão Poço no Estado do Pará, situada entre as coordenadas latitude 01°33'34"S, longitude 47°07'55"W e latitude 01°43'40"S, longitude 47°06'09"W, no sentido Norte-Sul.

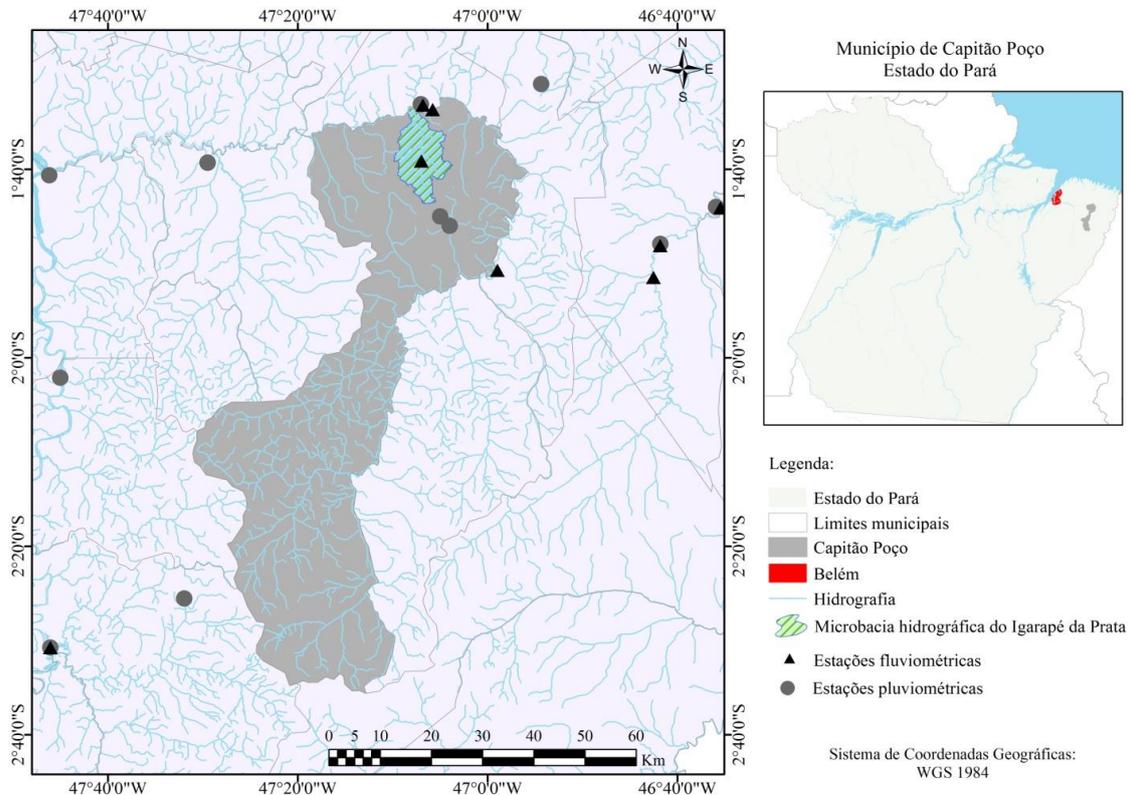
O município está inserido na mesorregião do Nordeste Paraense e microrregião do Guamá. A bacia hidrográfica está localizada a 154 km a leste da capital do Estado, Belém, sua descarga é junto ao rio Guamá, com seu exutório localizado nas coordenadas de latitude 01° 33'53,8"S e de longitude 47° 8' 21,5"W.

O clima da região, enquadra-se no tipo climáticos Am da classificação de Köppen, sendo úmido com pequena estação seca entre setembro e novembro (SANTOS *et al.*, 2015).

De acordo com Pacheco e Bastos (2001), no município de Capitão Poço, a temperatura do ar é um dos elementos meteorológicos que se caracteriza por apresentar pequena variação térmica durante o ano, tendo como temperatura média anual valores oscilando em torno de 26 °C. Ainda segundo os autores, as temperaturas máximas médias anuais oscilam entre 32 °C e 33,7 °C, enquanto que, as mínimas médias anuais, variam de 21,1 °C a 22,4 °C.

Na Figura 1 apresenta-se o mapa de localização do município, contendo a área de estudo e as estações meteorológicas adjacentes.

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Igarapé da Prata.



Fonte: Autores (2017).

Santos *et al.* (2015) mostram que a precipitação pluviométrica média anual no município de Capitão Poço é de 2.400 mm, com os meses mais chuvosos entre fevereiro e abril, com o pico em março.

O município de Capitão Poço está localizado em uma região sujeita a índices pluviométricos elevados e, conseqüentemente, a valores elevados de umidade relativa, tendo como médias anuais de umidade relativa valores variando de 70% a 85%. Os maiores índices de umidade relativa do ar ocorrem no período chuvoso (janeiro a maio), enquanto que os menores índices de umidade relativa acontecem no período menos chuvoso (outubro e novembro) (PACHECO; BASTOS, 2001).

Sobre a hidrografia do município de Capitão Poço: O rio Guamá é o de maior importância no município, servindo de limite entre Capitão Poço e o município de Ourém, em toda sua porção norte e leste. Para o rio Guamá, converge toda a trama de pequenos rios e igarapés que se inserem no

município; uns, em direção sul-norte, outros, em direção sudoeste-nordeste e outros, ainda, em direção, norte-sul (FAPESPA, 2016).

Sobre a vegetação do município de Capitão Poço: A vegetação é caracterizada pela cobertura de Floresta Densa Latifolheada de platô, terraços e vegetação aluvial. Estando a área inserida na condição de frente pioneira, há incidência muito grande de desmatamentos e, conseqüentemente, áreas de capoeira. Atualmente, existe uma grande área com o cultivo de citrus (laranja), com fins industriais (FAPESPA, 2016).

No trecho da bacia estudada predominam os Latossolos Amarelos distróficos e Latossolos Vermelho-Amarelo distróficos, com 84 e 14 % do total, respectivamente, ambos são solos profundos, homogêneos e quimicamente pobres (SANTOS *et al.*, 2015).

Em relação ao aspecto geológico do município de Capitão Poço: A área do município de Capitão Poço é constituída, geologicamente, por sedimentos do Terciário Barreira e do Quaternário; possui, ainda, áreas com rochas cristalinas do Grupo Gurupi na curva do rio Guamá, no limite com o Município de Ourém. Também ocorrem restos de sedimentos do Cretáceo. O relevo acompanha a geologia, apresentando áreas de tabuleiros, terraços, várzeas e colinas baixas do Cristalino. Insere-se no Planalto Rebaixado da Zona Bragantina (FAPESPA, 2016).

Rodrigues *et al.* (2016) realizaram a análise espacial da microbacia hidrográfica do igarapé da Prata com a obtenção e processamento de dados digitais de elevação *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e processamento dos dados digitais de elevação e drenagem, gerados por meio do Sistema de Informações Geográficas (SIG) utilizando softwares de geoprocessamento para obtenção da delimitação da microbacia, e posterior definição das características físicas, como: área da bacia (115,28 km²), perímetro (70,15 km), coeficiente de compacidade (1,829), fator de forma (0,356), índice de circularidade (0,294), declividade média (7,27%), altitude média (75,37 m), padrão de drenagem (dendrítica) densidade de drenagem (0,049 km/km²), ordem dos cursos d'água (4^a), comprimento total dos cursos

d'água (60,47 km), comprimento do curso d'água principal (16,94 km) e sua declividade média (0,0034 km/km), além do tempo de concentração (470 minutos).

De acordo com as características morfométricas pode-se afirmar que a microbacia hidrográfica do igarapé da Prata mostra-se pouco suscetível a enchentes em condições normais de precipitação, ou seja, excluindo-se eventos de intensidades anormais.

O regime regional de chuvas é caracterizado por duas estações: uma estação chuvosa de janeiro a junho, sendo março o mês com maior precipitação; e uma estação seca de julho a dezembro, sendo outubro o mês com a menor precipitação (BLANCO *et al.*, 2013).

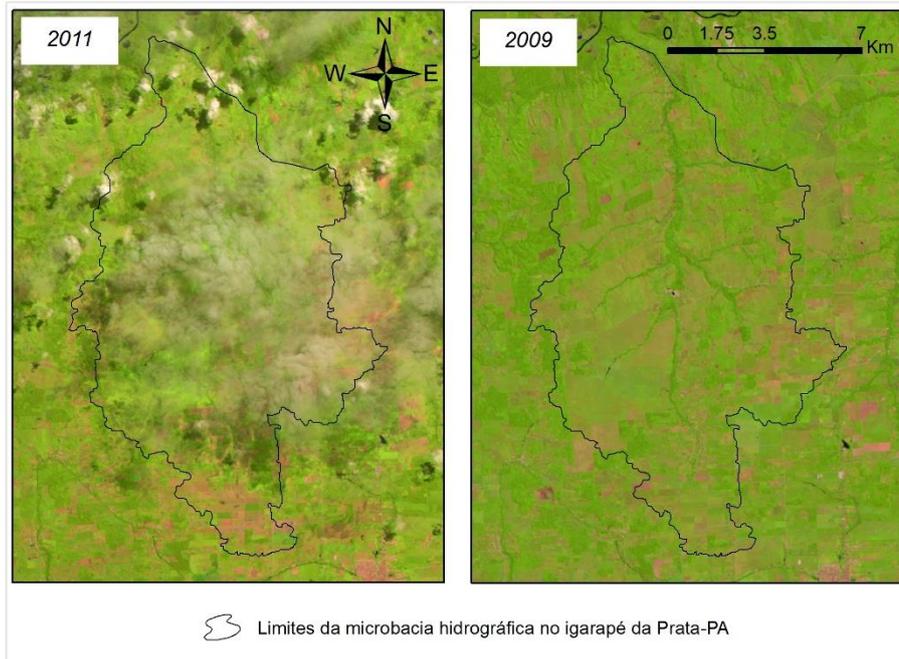
2.1 Técnicas de geoprocessamento

Para Genz e Tucci (1995) o recobrimento da superfície do terreno por obras de engenharia implica em uma maior quantidade e velocidade do escoamento superficial em um tempo menor, resultando no aumento da vazão de cheia, redução do tempo de concentração e diminuição da vazão de base, o que acarreta no aumento das inundações. Surge assim, a necessidade de estudos mais detalhados que visem compreender a variação do regime hidrológico causado pelo processo de adensamento urbano em bacias hidrográficas.

Para definição das áreas de uso e cobertura do solo foram classificadas as superfícies utilizando as bandas de imagens do sensor TM/Landsat 5 disponíveis na plataforma *Earth Explore* do *United States Geological Survey* (USGS). As imagens foram exportadas para o software ArcGis 10.1, no qual realizou-se a confecção das composições coloridas em RGB (Red, Green, Blue). Esta composição de bandas (b5, b4 e b3) foi utilizada por se tratar de uma bacia hidrográfica predominantemente rural, com atividades agropecuárias, classificando e quantificando as áreas em floresta (primária e secundária), terras cultivadas e pastagens.

Os arquivos de imagem utilizados foram referentes aos anos de 1984, 1985, 1986, 1990, 1997, 1999, 2000, 2001, 2005, 2006, 2008, 2009 e 2010. A maior dificuldade em englobar imagens se dá devido à região em estudo possuir muita interferência decorrente de nuvens nas imagens do sensor TM/Landsat 5 (Figura 2).

Fig. 2 – Diferença de imagens do sensor TM/Landsat 5 com interferência de nuvens (2011) e sem interferência de nuvens (2009) na microbacia hidrográfica do Igarapé da Prata.



Fonte: Autores (2017).

2.2 Estimativa do coeficiente de escoamento superficial

Com base nos resultados sobre o uso e cobertura do solo, definiram-se valores estimados para o coeficiente de escoamento superficial (C) utilizando valores literários usuais apresentados por Cruciani (1989), conforme apresentado na Tabela 1.

Valores literários usuais tabelados de C, em geral, são válidos para um período de retorno de 10 anos (PORTO, 1995; TOMAZ, 2002).

Tabela 1 - Valores estimados para o coeficiente de escoamento superficial (c), associados à declividade, tipo de solo e tipo de cobertura do solo

Declividade (%)	Tipo de solo		
	Solo arenoso	Solo franco	Solo argiloso
Florestas			
0 – 5	0,10	0,30	0,40
5 – 10	0,25	0,35	0,50
10 – 30	0,30	0,50	0,60
Pastagens			
0 – 5	0,10	0,30	0,40
5 – 10	0,15	0,35	0,55
10 – 30	0,20	0,40	0,60
Terras cultivadas			
0 – 5	0,30	0,50	0,60
5 – 10	0,40	0,60	0,70
10 – 30	0,50	0,70	0,80

Fonte: Cruciani (1989).

Além da estimativa de C associada ao uso e cobertura do solo, foram estimados valores deste coeficiente através do método do Serviço de Conservação dos Recursos Naturais-NRCS (1997), com subsídio de informações como tempo de concentração da microbacia e dados alcançados por meio da utilização de equação de chuvas intensas na área. Com a finalidade de se calcular o escoamento máximo no exutório da bacia, adotou-se neste trabalho o tempo de duração da precipitação máxima igual ao Tempo de concentração (Tc), o qual é definido como o tempo necessário para que a água que caiu no ponto mais distante chegue até o exutório da bacia. Foi adotado o valor de 470 minutos para a microbacia do igarapé da Prata, calculados pela equação de Kirpich Modificado (Rodrigues *et al.*, 2016).

Parâmetros da equação de chuvas intensas foram obtidos de estudos preliminares das relações I-D-F (Intensidade–Duração–Frequência) para a cidade de Ourém, no estado do Pará (SOUZA *et al.*, 2012), considerando que a sede deste município é mais próxima da microbacia do que a sede do município de Capitão Poço. Assim, é possível estabelecer Equação (1) de Intensidade de precipitação máxima para a cidade de Ourém.

$$I = \frac{887,0707 \cdot Tr^{0,1055}}{(t+9,7948)^{0,7245}} \quad (1)$$

Em que I é a intensidade pluviométrica em mm/h; Tr é o período de retorno em anos; e t é a duração da chuva, nesse caso será adotado o tempo de concentração.

No método NRCS (1997), conforme explicado por Targa *et al.* (2012), a parcela da precipitação que causa o escoamento superficial é denominada precipitação efetiva (P_e) a qual é calculada pelo método do Número de Curva (CN) utilizando-se as Equações 2 e 3. O coeficiente de escoamento (C) indica a proporção da chuva de projeto que descarrega rapidamente no sistema de drenagem da bacia e que contribui para a descarga de pico. Seu valor é diretamente dependente das características de infiltração do solo e das características de detenção e retenção da bacia. Dessa forma, o coeficiente de escoamento “ C ” é o adimensional que reflete a relação entre a precipitação efetiva e a precipitação total e pode ser calculado pela Equação 4.

$$P_e = \frac{(P-0,2.S)^2}{(P+0,8.S)} \quad (2)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

$$C = \frac{(P-0,2.S)^2}{(P+0,8.S)} \cdot \frac{1}{P} \quad (4)$$

Em que P_e é o escoamento superficial ou precipitação efetiva em mm; P é a precipitação máxima em dado período de retorno em mm; S é a infiltração potencial em mm; CN é o Número de Curva, adimensional (ver Tabela 2); e C é o coeficiente de escoamento, adimensional.

Gribbin (2009) informa que o Método NRCS é um dos procedimentos para calcular um hidrograma sintético, baseado em fatores empiricamente determinados, desenvolvido pelo Serviço de Conservação dos Recursos Naturais.

Segundo Targa *et al.* (2012), o método Número de Curva é considerado o método mais utilizado para a estimativa do escoamento superficial em bacias hidrográficas. As classes mais impermeáveis apresentam CN mais

elevados e, portanto, indicam menor potencial de infiltração e maior escoamento superficial da água.

O método NRCS (1997) apresenta valores de CN com variação entre 0 e 100 e depende do tipo de solo, das condições de ocupação e da umidade antecedente. Os grupos hidrológicos de solos (A, B, C e D) apresentam as seguintes características:

- a) Grupo A – Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração (arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8 %);
- b) Grupo B – Solos menos permeáveis que o anterior, arenosos menos profundos que os do Grupo A e com permeabilidade superior à média (teor de argila ainda inferior a 15 %);
- c) Grupo C – Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo considerável porcentagem de argila e pouco profundo (barrentos com teor total de argila de 20 a 30 % mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,2 m);
- d) Grupo D – Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração e alta capacidade de escoamento (argilosos 30 – 40 % de argila e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade).

O grupo hidrológico do solo, em conjunto com o uso e cobertura do solo, fornece o valor do CN a ser utilizado no método. No caso da bacia do igarapé da Prata, o grupo hidrológico mais presente foi o grupo B. Assim, foi possível fazer uma estimativa do CN unificado para a bacia, a partir dos percentuais já obtidos de uso e cobertura do solo.

Na medida em que uma bacia vai sendo urbanizada, também vai ocorrendo o aumento do escoamento superficial. Como resultado do aumento da impermeabilização, uma maior parcela da precipitação se transforma em escoamento na bacia e com isso aumenta o valor do coeficiente de escoamento superficial (C). Dessa forma, o coeficiente C é de grande importância na avaliação da capacidade de sistemas de drenagens.

Os valores de CN em função da cobertura e do tipo hidrológico de solo (condição II de umidade) são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - valores de CN em função da cobertura e do tipo hidrológico do solo.

Tipo de uso do solo/Tratamento/Condições hidrológicas	Grupo do Solo			
	A	B	C	D
Uso residencial				
Tamanho médio do lote - % Impermeável				
Até 500 m ² - 65	77	85	90	92
1000 m ² - 38	61	75	83	87
1500 m ² - 30	57	72	81	86
Estacionamentos pavimentados, telhados	98	98	98	98
Ruas e estradas				
Pavimentadas, com guias e drenagem	98	98	98	98
Com cascalho	76	85	89	91
De terra	72	82	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)	89	92	94	95
Distritos industriais (72% de impermeabilização)	81	88	91	93
Espaços abertos, parques, jardins:				
Boas condições, cobertura de grama > 75%	39	61	74	80
Condições médias, cobertura de grama > 50%	49	69	79	84
Terreno preparado para plantio, descoberto				
Plantio em linha reta	77	86	91	94
Cultura em fileira				
Linha reta condições ruins	72	81	88	91
Linha reta condições boas	67	78	85	89
Curva de nível condições ruins	70	79	84	88
Curva de nível condições boas	65	75	82	86
Cultura de grãos				
Linha reta condições ruins	65	76	84	88
Linha reta condições boas	63	75	83	87
Curva de nível condições ruins	63	74	82	85
Curva de nível condições boas	61	73	81	84
Pastos				
Condições ruins	68	79	86	89
Condições médias	49	69	79	84
Condições boas	39	61	74	80
Curva de nível condições ruins	47	67	81	88
Curva de nível condições médias	25	59	75	83
Curva de nível condições boas	6	35	70	79
Campos em condições boas	30	58	71	78
Florestas condições ruins	45	66	77	83
Florestas condições médias	36	60	73	79
Florestas condições boas	25	55	70	77

Fonte: Tucci e Marques (2001).

Os valores constantes na Tabela 2, referem-se a condições médias de umidade antecedente (condição II). A conversão dos valores de CN para condição I ou III, dependendo da situação que se desejar representar, é realizada conforme se apresenta na Tabela 3. A condição I representa solos secos, e a condição III representa a situação em que o solo está saturado.

Tabela 3 - Conversão do valor de CN para condição I ou III.

Condições de umidade		
I	II	III
100	100	100
87	95	99
78	90	98
70	85	97
63	80	94
57	75	91
51	70	87
45	65	83
40	60	79
35	55	75
31	50	70
27	45	65
23	40	60
19	35	55
15	30	50

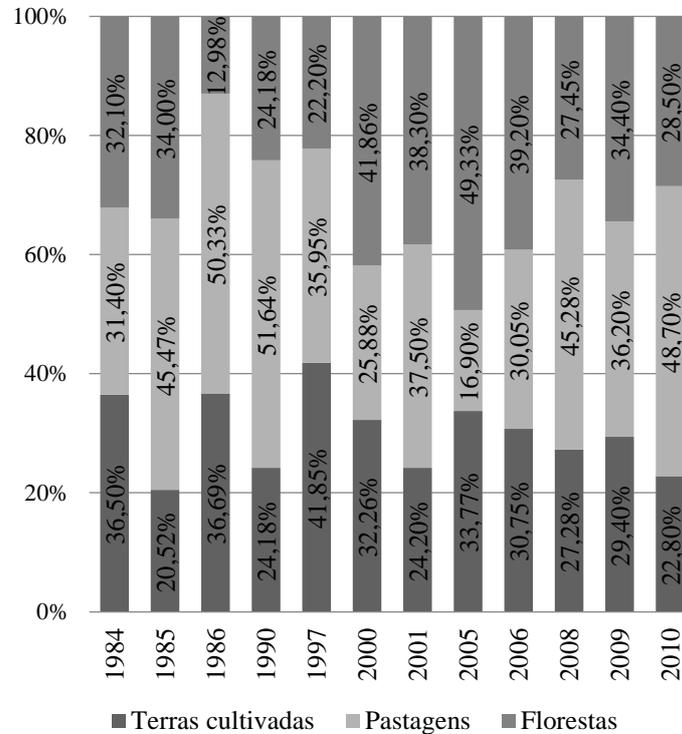
Fonte: Tucci e Marques (2001).

Os valores de CN foram estimados utilizando os resultados obtidos de uso e cobertura do solo para o ano de 2010. Este ano foi escolhido por se tratar da situação mais recente e, portanto, mais representativa das condições atuais da bacia estudada.

3 Resultados e Discussão

Na Figura 3 apresentam-se as diversificações no uso e cobertura do solo, entre os anos analisados, na bacia hidrográfica do igarapé da Prata.

Figura 3 - Distribuição percentual do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do igarapé da Prata, Capitão Poço, PA.

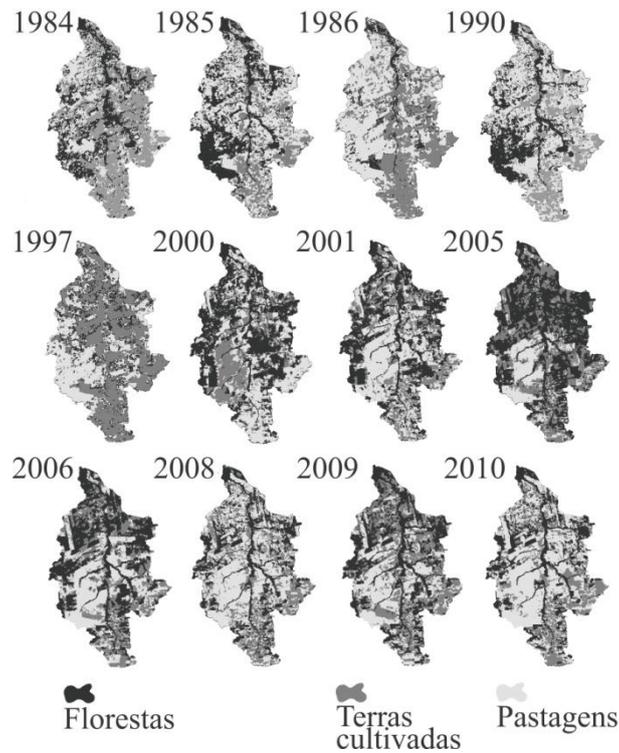


Fonte: Elaborado pelos autores

Pela análise das imagens do sensor TM/Landsat 5 não houve evidências significativas de solos expostos na área da bacia do igarapé da Prata. Nos anos de 1984, 2001 e 2009, a distribuição do uso e cobertura do solo se dá de forma equilibrada, porém, no ano de 1990 destacou-se 48% de terras cultivadas; no ano de 2006, as matas (florestas) ocupavam 39% da área da bacia; e em 2010, 49% da área da bacia tinha o uso voltado para pecuária, com a presença de pastagens.

Na Figura 4 apresenta-se o mapeamento da evolução do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica em estudo nos anos supracitados

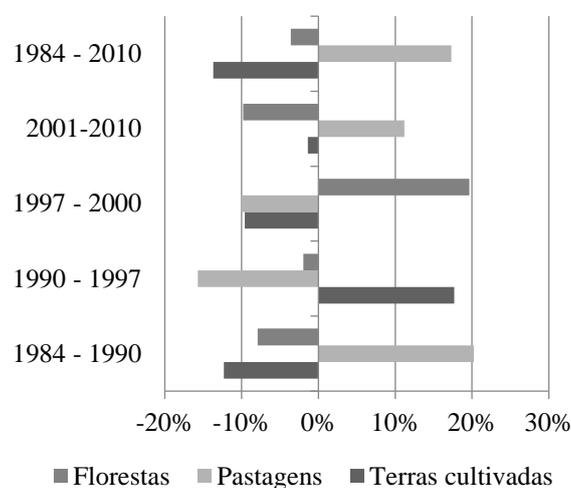
Figura 4 - Evolução do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do igarapé da Prata, Capitão Poço, Pará, Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores

Para elucidar as alterações do uso e cobertura do solo com o passar dos anos na bacia hidrográfica do igarapé da Prata, as variações dos valores percentuais destes incrementos estão representadas na Figura 5.

Figura 5 - Variação percentual dos incrementos observados para os diferentes tipos de uso do solo da bacia hidrográfica do igarapé da Prata, Capitão Poço, Pará, Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores

Em uma visão geral, entre o ano de 1984 e 2010, houve redução das áreas de matas (-3,60%) e terras cultivadas (-13,70%), e aumento nas áreas de pastagem (17,30%).

Considerando a declividade média de 7,27% (Rodrigues *et al.*, 2016) e os valores obtidos quanto ao uso e cobertura do solo na bacia, foram estimados valores de C conforme apresenta-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de c estimados de acordo o uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do igarapé da prata, associados às informações definidas com Cruciani (1989).

Ano	C
1984	0,44
1985	0,40
1986	0,44
1990	0,41
1997	0,45
2000	0,43
2001	0,41
2005	0,43
2006	0,43
2008	0,42
2009	0,42
2010	0,41

Fonte: Elaborado pelos autores

Os anos analisados indicam que a média do C para a microbacia é de 0,425, significa dizer que 42,5% do volume de precipitações pluviométricas é escoado superficialmente; com amplitude de 0,053 e desvio-padrão de 0,016. As modificações no escoamento superficial e nos valores do coeficiente de escoamento superficial (C) se devem principalmente à dinâmica agropecuária e devido às influências climatológicas (variações do regime de precipitações e temperaturas) que podem alterar a paisagem vegetal local.

Pelo método NRCS, utilizando CN igual a 75, S igual a 84,67 mm e Tc igual a 470 minutos, foram alcançados valores de C, para diferentes períodos de retorno, conforme apresenta-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores de c estimados de acordo com a precipitação pluviométrica e o uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do igarapé da prata no ano de 2010, associados ao método NRCS.

Tr (anos)	I (mm/h)	P (mm)	Pe (mm)	C
1	10,13	79,34	26,48	0,33
2	10,90	85,36	30,58	0,36
5	12,00	94,02	36,74	0,39
10	12,91	101,15	42,00	0,42
15	13,48	105,57	45,34	0,43
20	13,89	108,83	47,83	0,44
25	14,22	111,42	49,83	0,45
50	15,30	119,87	56,48	0,47
75	15,97	125,11	60,68	0,49
100	16,46	128,97	63,81	0,49
150	17,18	134,60	68,43	0,51
200	17,71	138,75	71,87	0,52

Fonte: Elaborado pelos autores

Considerando a relação entre a precipitação efetiva (Pe) e a precipitação máxima (P) expressa na Equação 2, pode-se observar para a microbacia do igarapé da Prata que o coeficiente de escoamento (C) varia com a magnitude da precipitação (P) para cada Tempo de retorno (Tr), pois com a ocorrência de precipitações pluviométricas, o escoamento superficial aumenta à medida que o solo fica saturado.

Os valores apresentados nas Tabelas 4 e 5 foram calculados por diferentes metodologias e considerando diferentes períodos de retorno. Os coeficientes calculados na Tabela 4 referem-se a períodos de retorno de até 10 anos, para os diferentes usos e coberturas do solo ao longo dos anos estudados. Ao fazer a comparação do valor obtido na Tabela 5 para as condições do ano de 2010, pode-se verificar que os valores estão muito próximos para o período de retorno de 10 anos. Portanto, embora a metodologia do coeficiente de escoamento ponderado (utilizando valores literários usuais) ser mais fácil, por considerar menos variáveis em seu cálculo, esta apresentou valor bastante próximo ao calculado pelo método NRCS.

4 Considerações Finais

A avaliação das mudanças do uso e ocupação do solo entre os anos de 1984 e 2010 retrata um aumento das áreas de pastagem, uma redução significativa nas áreas de terras de cultivo e redução em áreas de floretas.

No decorrer do tempo, pela análise temporal fica evidente a alternância entre o uso e cobertura do solo na bacia em função das atividades econômicas do município (agricultura e pecuária), bem como a preservação do trecho de mata no decorrer do curso d'água. Contudo esta dinâmica no solo pode impactar na preservação de áreas de vegetação densa, na alteração de fragmentos de mata, na possível modificação da vazão de pico no exutório da microbacia hidrográfica, devido alterações no escoamento superficial, assim, tornando a análise do uso e cobertura do solo, uma ferramenta eficiente para a gestão dos recursos hídricos.

Anos onde as porções de florestas foram significativamente menores podem ter relação com influências climatológicas (variações do regime de precipitações e temperaturas) que podem causar alterações na paisagem vegetal local.

Com base na análise de uso e cobertura do solo auxiliada por técnicas de geoprocessamento da microbacia do igarapé da Prata, em Capitão Poço, ficou evidenciado que em função da dinâmica agropecuária, o coeficiente de escoamento superficial (C) sofre variações para os diferentes anos, com um valor médio de 0,425, significa dizer que em média, para os anos analisados, 42,5% do volume de precipitações pluviométricas é escoado superficialmente. Uma situação ideal para avaliar de modo mais consistente requer que a análise temporal seja completa, com mais anos. Porém, esta situação não foi alcançada devido ao excesso de interferências por nuvens nas imagens do sensor TM/Landsat 5 disponíveis para a região. No entanto, existem metodologias para correção atmosférica de imagens, contudo, estas correções podem gerar erros nos resultados.

Pelo método NRCS, para o ano de 2010, foram alcançados valores coerentes comparados aos estimados por meio de técnicas de geoprocessamento associadas aos valores literários usuais. Fica claro que com a ocorrência de precipitações pluviométricas, o escoamento superficial aumenta à medida que o solo fica saturado. Porém, estes valores se tornam estáveis com o aumento do período de retorno, devido ao elevado tempo de concentração adotado para a microbacia.

A bacia do igarapé da Prata apresenta boa infiltração, característica de áreas rurais, em função de seu coeficiente de escoamento superficial ser baixo.

Referências

- ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, M. T. Análise morfométrica da bacia hidrográfica riacho Namorado, São João do Cariri-PB: uma ferramenta ao diagnóstico físico. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 31, n. 3, 2014. pp. 130-148.
- ANDRADE, M. P.; RIBEIRO, C. B. M.; LIMA, R. N. S. Modelagem dinâmica da mudança do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Paraíba do

- Sul a partir de imagens Modis e um modelo de sub-regiões. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 5, 2016. pp. 965-978.
- BLANCO, C. J. C.; SANTOS, S. S. M.; QUINTAS, M. C.; VINAGRE, M. V. A.; MESQUITA, A. L. A. Contribution to hydrological modelling of small Amazonian catchments: application of rainfall–runoff models to simulate flow duration curves. **Hydrological Sciences Journal**, v. 58, n. 7, 2013. pp. 1423-1433.
- BORDALO, C. A. O paradoxo da água na região das águas: o caso da Amazônia brasileira. *Geosp – Espaço e Tempo (Online)*, v. 21, n. 1, 2017. pp. 120-137.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Lei n. 9.433: **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos. 1997.
- CAMPOS, S.; PISSARRA, T. C. T.; RODRIGUES, F. M.; SILVA, M. G.; SOARES, M. C. E.; GRANATO, M.; CAVASINI, R.; MOREIRA, K. F. Imagens digitais na análise do uso da terra de uma microbacia como subsídio ao desenvolvimento sustentável. **Agrarian**, Dourados, v. 3, n. 9, 2010. pp. 209-215.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill. 1988.
- CROS-CAYOT, S. **Distribution spatiale des transferts de surface à l'échelle du versant**. Contexte armoricain. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes. 1996.
- CRUCIANI, D. E. **A Drenagem na Agricultura**. (4a ed.). São Paulo: Ed. Nobel. 1989.
- DEHOTIN, J.; BREIL, P.; BRAUD, I.; DE LAVENNE, A.; LAGOY, M.; SARRAZIN, B. Detecting surface runoff location in a small catchment using distributed and simple observation method. **Journal of Hydrology**, v. 525, 2015. pp. 113–129.
- FAPESPA. **Estatísticas Municipais Paraenses: Capitão Poço**. Governo do Estado do Pará. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da Informação. Belém, 2016.

- GENZ, F.; TUCCI, C. E. M. Infiltração em Superfícies Urbanas. **Revista Brasileira de Engenharia Caderno de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 1, 1995. pp. 77-104.
- GRIBBIN, J. E. **Introdução à hidráulica e hidrologia na gestão de águas pluviais**. (3a ed.). São Paulo: Cengage Learning, 2009.
- HEWLETT, J. D.; HIBBERT, A. R. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. **For. Hydrol.**, 1967. pp. 275–290.
- HORTON, R. E. The role of infiltration in the hydrologic cycle. **Trans. Am. Geophys. Union**, v. 14, 1933. pp. 446–460.
- HIRYE, M. C. M.; ALVES, D. S.; KUX, H. J. H. Mapeamento da cobertura da terra na cidade de Altamira (PA) em 2000 e 2010, com a utilização do modelo linear de mistura espectral de imagens do Sensor TM. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 1, 2015. pp. 157-168.
- LAGADEC, L-R.; PIERRE PATRICE, P.; BRAUD, I.; CHAZELLE, B.; MOULIN, L.; DEHOTIN, J.; HAUCHARD, E.; BREIL, P. Description and evaluation of a surface runoff susceptibility mapping method. **Journal of Hydrology**, v. 541, 2016. pp. 495–509.
- MOREIRA, A. M. **Estudo comparativo do uso da terra em unidades de produção familiar no Nordeste**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil. 2008.
- NASCIMENTO, T. V.; FERNANDES, L. L. Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 1, 2017. pp. 169 – 177.
- NRCS. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Soil Survey Staff. **National Soil Survey Handbook**, title 430-VI. Washington. DC: Government Printing Office. 1997.
- NOVO, E. M. L. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. (2a ed.). São Paulo: Edgard Blucher. 2002.
- PACHECO, N. A.; BASTOS, T. X. **Caracterização climática do Município de Capitão Poço-PA**. Embrapa Amazônia Oriental, Documentos, 79, 20p. Belém, Pará, Brasil. 2001.

- PORTO, M. F. A. **Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas**. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L. e BARROS, M.T. Drenagem Urbana. UFRGS Ed. da Universidade/ABRH, Porto Alegre, 1995, pp. 387-428.
- RIBEIRO, B. M. G.; FONSECA, L. M. G.; KUX, H. J. H. Mapeamento da cobertura do solo urbano utilizando imagens WorldView-II e o Sistema Interimage. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, Edição Especial 40 Anos, 2011. pp. 51-63.
- RODRIGUES, R. S. S.; FERNANDES, L. L.; CRISPIM, D. L.; VIEIRA, A. S. A.; PESSOA, F. C. L. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, Capitão Poço – Pará – Brasil. **Revista Verde**, v. 11, n. 3, 2016. pp. 143-150.
- SANTOS, A. L. C.; SANTOS, F. Mapeamento das classes de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Rio Vaza – Barris, Sergipe. **Revista Multidisciplinar da UNIESP: Saber Acadêmico**, v. 10, 2010. pp. 57-67.
- SANTOS, D. B. O.; BLANCO, C. J. C.; PESSOA, F. C. L. RUSLE para Determinação da Tolerância de Perda de Solo. **Biota Amazônia**, v. 5, n. 4, 2015. pp. 78-83.
- SANTOS, D. B. O. **Aplicação da RUSLE a uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil. 2013.
- SOUZA, R. O. R. M.; SCARAMUSSA P. H. M.; AMARAL, M. A. C. M.; PEREIRA NETO, J. A.; PANTOJA, A. V.; SADECK, L. W. R. Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 9, 2012. pp. 999–1005.
- TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. D.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Ambi-Agua**, v. 7, n. 2, 2012. pp. 120-142.
- TOMAZ, P. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais: Piscinões, Galerias, Bueiros, Canais**. Métodos SCS, Denver, Santa Bárbara, Racional, TR-55. São Paulo: Editora Navegar, 2002.
- TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002.

- TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. M. **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. UFRGS. 2001.
- VAEZA, R. F.; OLIVEIRA, P. C.; MAIA, A. G.; DISPERATI, A. A. Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Floresta e Ambiente**, v. 12, n. 1, 2010. pp. 23-29.
- YU, Y.; LOISKANDL, W.; KAUL, H-P.; HIMMELBAUER, M.; WEI, W.; CHEN, L.; BODNER, G. Estimation of runoff mitigation by morphologically different cover crop root systems. **Journal of Hydrology**, v. 538, 2016. pp. 667–676.