



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS NA AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA
REVEGETAÇÃO DE PARQUES URBANOS SOB A REDE DE DRENAGEM: ESTUDO
DE CASO PROJETO MONTES VERDES, BELO HORIZONTE-MG

DÉBORA ALVES DE ALCÂNTARA

BELO HORIZONTE

2018

DÉBORA ALVES DE ALCÂNTARA

APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS NA AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA
REVEGETAÇÃO DE PARQUES URBANOS SOB A REDE DE DRENAGEM: ESTUDO
DE CASO PROJETO MONTES VERDES, BELO HORIZONTE-MG

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais, como
requisito parcial à obtenção do título de
Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Lília Maria de Oliveira

BELO HORIZONTE

2018

Alcântara, Débora Alves.

S---

Aplicação de geotecnologias na avaliação do impacto da revegetação de parques urbanos sob a rede de drenagem: estudo de caso Projeto Montes Verdes, Belo Horizonte-MG / Débora Alves de Alcântara. - 2018.

-- f.; -- cm.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho. Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Lília Maria de Oliveira.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Engenharia Ambiental e Sanitária, 2018.

1. Assunto. 2. Assunto. 3. Assunto. I. Sobrenome, Nome. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Título.

CDD -----

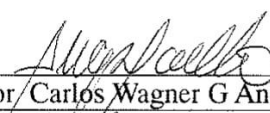
Débora Alves de Alcântara

**APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS NA AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA
REVEGETAÇÃO DE PARQUES URBANOS SOB A REDE DE DRENAGEM:
ESTUDO DE CASO PROJETO MONTES VERDES, BELO HORIZONTE-MG**

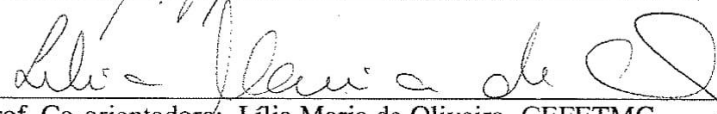
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro Ambiental e
Sanitarista.

Data de aprovação: 03/12/18

Banca examinadora:




Prof. Orientador/ Carlos Wagner G Andrade Coelho - CEFETMG



Prof. Co-orientadora: Lília Maria de Oliveira- CEFETMG



Prof. Dr. Frederico Keizo Odan- CEFETMG



Dr. Marcelo Vichiato – Secretaria de Meio Ambiente (SMMA-PBH)

A Deus, porque dele e por Ele, e para Ele, são todas as coisas.

Nenhum caminho é longo demais quando
um amigo nos acompanha.

(Autor desconhecido)

RESUMO

DE ALCÂNTARA, DÉBORA ALVES, *Aplicação de Geotecnologias na Avaliação do Impacto da Revegetação de Parques Urbanos sob a Rede de Drenagem: Estudo de caso Projeto Montes Verdes, Belo Horizonte-Mg*, 2018. 66f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

As modificações da cobertura natural do solo em meio urbano e a ocupação inadequada do território geram impactos na drenagem natural das bacias, alterando o escoamento superficial e a infiltração. O uso de geotecnologias se tornou uma importante ferramenta de gerenciamento desses impactos, disseminando o uso de imagens de satélite que permitem a gestão do território de maneira efetiva e econômica. O objetivo deste trabalho foi utilizar destas ferramentas para avaliar o impacto positivo sob o sistema de drenagem decorrente da recuperação e revegetação de dois parques localizados na Regional Pampulha de Belo Horizonte, MG. Os parques em questão são parte do projeto de revegetação Montes Verdes da Prefeitura de Belo Horizonte que visa à aplicação de áreas recuperadas como infraestruturas verdes. Foram utilizadas imagens Rapideye, com resoluções de 5 metros. Para estimar o impacto de forma quantitativa foram aplicadas a classificação supervisionada e o índice de vegetação normalizada utilizando Arcgis 10.5, e posteriormente, os métodos Racional e Soil Concervation Service de cálculo de vazão de pico dentro da área de influência das áreas recuperadas. Verificou-se que os parques encontram-se na parte mais alta de suas sub-bacias, com alta declividade, o que favorece o escoamento superficial rápido. Mesmo com a revegetação, a capacidade de infiltração dos parques é limitada pela declividade acentuada.

Palavra-chaves: Imagens de satélite. Montes Verdes. Revegetação. Escoamento superficial.

ABSTRACT

DE ALCÂNTARA, DÉBORA ALVES, *Application of Geotechnologies in the Evaluation of the Impact of Revegetation of Urban Parks under the Drainage Network: A case study Montes Verdes Project, Belo Horizonte-Mg.* 2018 66p. Monograph (Graduate) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

The changes in the natural soil cover in urban areas and the inadequate occupation of the territory, generate impacts on the natural drainage of the basins, altering the runoff and infiltration. The use of geotechnology has become an important tool to manage these impacts, disseminating the use of satellite images that allow the management of the territory in an effective and economical way. The main goal of this paper was to use these tools to evaluate the positive impact under the drainage system resulting from the recovery and revegetation of two parks located in the Pampulha Region of Belo Horizonte, MG. The parks in question are part of the Montes Verdes revegetation project of the prefecture of Belo Horizonte that aims at the application of reclaimed areas as green infrastructures. For this, Rapideye images were used, with resolutions of 5 meters, To estimate the impact, the supervised classification and the normalized vegetation index using Arcgis 10.5 were applied and on a later stage, the Rational and Soil Conservation Service methods of calculation of peak flow within the area of influence of the recovered areas. It was verified that the parks were in the highest parts of their subbasins, with high slope, which favors the rapid surface runoff. Even with revegetation, the infiltration capacity of the parks is limited by slope.

Key words: Satellite images. Montes Verdes. Revegetation. Surface runoff.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Resposta do escoamento frente à ocupação de várzea	5
Figura 2 Histórico de inundações do Ribeirão Arrudas	7
Figura 3 Representação do ciclo hidrológico	10
Figura 4 Distribuição espacial da água em percentual	11
Figura 5 Relação entre interceptação-intensidade-precipitação	13
Figura 6 Fatores intervenientes na variação da capacidade de infiltração	15
Figura 7 Representação de uma Bacia hidrográfica e seus elementos componentes	16
Figura 8 Localização de Belo Horizonte dentro da Sub-bacia do rio das Velhas, Bacia do rio São Francisco.....	17
Figura 9 Resposta hidrológica da bacia hidrográfica	18
Figura 10 Fatores intervenientes em um Hidrograma	19
Figura 11 Principais medidas de controle de inundações.....	21
Figura 12 Área revegetada no parque Fernando Sabino.....	32
Figura 13 Áreas de estudo.	34

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 Áreas de inundação em Belo Horizonte	8
Mapa 2 Localização das áreas de estudo	35
Mapa 3 Variação da área vegetada e urbanização do entorno.....	40
Mapa 4 Vigor vegetativo nos parques	42
Mapa 5 Altimetria e área de influência das sub-bacias dos Córregos Ressaca e Engenho Nogueira	43
Mapa 6 Regiões de inundação nas áreas de influência.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Porcentagem de chuva interceptada.....	14
Tabela 2 Valores de referência do Coeficiente de Escoamento Superficial utilizados em São Paulo.....	24
Tabela 3 Classificação dos tipos de solo	25
Tabela 4 Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas	26
Tabela 5 Coeficiente superficial C - Método Racional	37
Tabela 6 Quantis adimensionais $\mu T, d$	38
Tabela 7 Frações da cobertura do solo dos parques	41
Tabela 8 Dimensões e altimetria dos parques	44
Tabela 9 Vazão de pico atual.....	45
Tabela 10 Redução da vazão de pico pós revegetação.....	46
Tabela 11 Vazão de pico atual_SCS.....	47
Tabela 12 Redução da vazão de pico pós revegetação_SCS.....	47
Tabela 13 Estimativa de redução de Q_p para diferentes tipos de solo_SCS	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo Geral.....	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Urbanização.....	4
3.3 Hidrologia.....	9
3.3.1 Ciclo Hidrológico.....	9
3.3.1.1 <i>Abstrações Hidrológicas x Cobertura vegetal: Interceptação e Infiltração</i>	12
3.3.2 Bacia Hidrográfica.....	15
3.3.2.1 <i>Bacia Hidrográfica como sistema</i>	17
3.3 Drenagem urbana.....	19
3.3.1 Medidas de Controle.....	20
3.3.2 Infraestruturas Verdes aplicadas à Drenagem Urbana.....	22
3.3.3 Métodos de cálculo de vazão de pico.....	23
3.3.3.1 <i>Método Racional</i>	24
3.3.3.2 <i>Método Soil Conservation Service</i>	25
3.4 Geotecnologias.....	26
3.4.1 Sensoriamento Remoto.....	27
3.4.2 Aplicações em Gestão Urbana e Ambiental.....	28
3.4.3 Técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas recobrimento e uso do solo.....	29
4.MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.1 Descrição da área de estudo.....	34
4.2 Levantamento de dados.....	36
4.3 Determinação do Coeficiente de Escoamento Superficial.....	36
4.3.1 Método Racional.....	36
5 RESULTADOS E DISCURSÕES.....	40
5.1 Aplicação das geotecnologias.....	40
5.2 Vazão de pico.....	44
5.2.1 Método Racional.....	45
5.2.2 Método SCS.....	46
6 CONCLUSÃO.....	49
7 REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno de êxodo rural ocorrido na década de sessenta ocasionou acelerado crescimento populacional nos centros urbanos. Este processo perdurou de forma significativa até a década de oitenta. A demanda por espaço e infraestrutura nas cidades se tornou latente e a ocupação do território urbano ocorreu de forma não planejada.

Como consequência das modificações da cobertura vegetal, da impermeabilização do solo e da implantação de estruturas que dificultaram a infiltração da água, obteve-se grandes impactos ambientais, alterando o escoamento superficial e a infiltração das águas pluviais.

Impactos ambientais como aumento das vazões máximas; aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos; deterioração da qualidade da água, devido à lavagem das ruas, transporte de material sólido e as ligações clandestinas de esgoto doméstico e pluvial (TUCCI e COLLISCHONN, 1998), se tornaram mais comuns.

Todos esses impactos causam transtornos constantes à população, devido ao aumento da frequência e do nível de inundações, demandando a elaboração de projetos de drenagem urbana com a finalidade de escoar a água precipitada o mais rapidamente possível para jusante, priorizando assim, projetos estruturais (PORTO ALEGRE, 2005). Todavia, as frequentes falhas de projetos estruturais, tem levado a substituição por medidas não estruturais.

A aplicação de medidas (projetos) estruturais ou não estruturais é decidida a partir do conhecimento da área de estudo, ou seja, obtendo informações básicas como a área da bacia hidrográfica, regime de chuvas e uso e ocupação do solo da bacia. Neste contexto, a utilização de Geotecnologias têm se tornado frequente e mostra-se um aliado extremamente eficaz no campo da hidrologia, sendo empregadas principalmente no detalhamento de bacias hidrográficas.

Nas últimas décadas, os eventos de precipitação intensa em Belo Horizonte têm culminado, via de regra, em inundações, causando perdas materiais e de vidas humanas. Foram identificadas, pela Defesa Civil, 87 áreas de risco de inundação (CAMARA MUNICIPAL, 2017) na capital. Especialistas da área acreditam que acabar com as enchentes em Belo Horizonte pode ser uma meta inalcançável, porém, o Prof. Nascimento afirma que “há soluções mais difusas, como aumentar a área verde [...]” (O TEMPO, 2018).

De acordo com Fiori *et al* (2017) áreas vegetadas produzem efeitos positivos quanto à qualidade do ar retenção de poeira, absorção do calor solar e atenuação de ruído. Mas, sobretudo são responsáveis por absorver grande parte das chuvas através da infiltração dessas águas no solo, de sua evapotranspiração pela ação fisiológica, reduzindo e retardando o escoamento superficial.

Partindo dessa premissa e com propósito de fazer uso de todo serviço ambiental prestado por parques urbanos e áreas verdes de Belo Horizonte, a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA) de Belo Horizonte por iniciativa da Gerência de Licenciamento Ambiental de Indústrias (GELAI- SMMA), iniciou em 2016 o projeto Montes Verdes. A proposta do projeto é catalogar, recuperar e revegetar áreas verdes em Belo Horizonte com a finalidade de (a) aumentar as taxas de infiltração nessas áreas, minimizando o escoamento superficial, (b) recuperar áreas remanescentes dos biomas Cerrado e Mata Atlântica, (c) atenuar o fenômeno de ilhas de calor e, (d) criar corredores ecológicos. A utilização das áreas do Parque Fenando Sabino e da Serra do Engenho Nogueira é classificada como projeto piloto. A pretensão da Secretaria é expandir o projeto para toda cidade, incluindo áreas parques e reservas particulares.

A relevância deste trabalho, como parte do projeto Montes Verdes, é proporcionar embasamento científico à proposta inicial de revegetação e, principalmente, estimar resultados focalizando nos impactos positivos sob a rede de drenagem urbana. Pretende-se ainda dar suporte para futuras propostas.

2 OBJETIVOS

Dentre as diversas linhas de pesquisa possíveis a um projeto de recuperação e revegetação de áreas degradadas, bem como a manutenção das mesmas, a abordagem do escoamento superficial em áreas urbanas mostra-se a mais pertinente no momento para o município de Belo Horizonte.

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o impacto positivo sob o sistema de drenagem decorrente da recuperação e revegetação do Parque Fernando Sabino e da Serra do Engenho Nogueira por meio de geotecnologias.

2.2 Objetivos Específicos

- Verificar a ocorrência de enchentes nas bacias onde se insere os parques;
- Caracterizar as bacias obtendo informações sobre a sua fisiografia: áreas, comprimentos, declividades, etc.
- Obter e quantificar o uso e ocupação do solo das bacias de contribuição;
- Avaliar o coeficiente de escoamento superficial a partir dos dados de uso e ocupação do solo da bacia;
- Obter a chuva crítica para as bacias e estimar o escoamento superficial;
- Determinar as frações de solo degradado/exposto e solo vegetado dentro das áreas do parque Fernando Sabino e da Serra do Engenho Nogueira;
- Propor alterações no uso do solo nas áreas dos Parques e reavaliar o coeficiente de escoamento superficial e volumes escoado para a chuva crítica.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Urbanização

O processo de urbanização no Brasil, assim como em outros países, ocorreu por mudanças econômicas e sociais providas de eventos históricos como a Revolução Industrial (RAMOS *et al*, 2017). Ainda que tardio quando comparado a outros países, o processo de urbanização no Brasil se destaca pela velocidade muito superior a de países como Inglaterra, Estados Unidos e Japão (CHRISTOFIDIS, 2010).

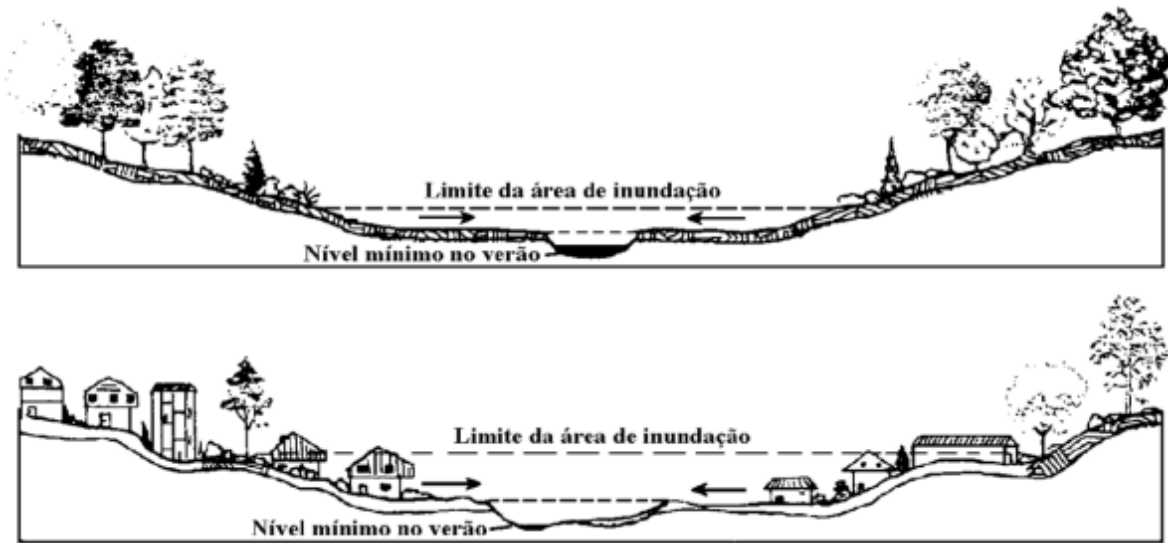
No censo demográfico de 1940 a população urbana brasileira era de 31,2% saltando para 55,9% em 1970, ultrapassando a rural (IBGE, 2000 *apud* CHRISTOFIDIS, 2010). De acordo com os resultados do censo do IBGE (2010), o grau de urbanização no país é de 84,4%.

Este processo acelerado se reflete em um cenário de falta de planejamento urbano, problemas sociais e de infraestruturas. Para Christofidis (2010), mesmo quando ocorre a metropolização ordenada, a exemplo de Belo Horizonte e Brasília que foram cidades planejadas, problemas crônicos como a política desenvolvimentista, fragmentada, e a falta de visão sistêmica do ambiente a ser ocupado, priorizando aspectos econômicos e sociais em detrimento de aspectos ambientais, são recorrentes nas cidades brasileiras.

Miguez *et al* (2015) ressalta que a urbanização constitui uma das ações antrópicas de maior impacto ambiental pelas consequências resultantes da alteração do espaço físico e uso do solo. Na visão de Felipe *et al* (2011), o desmatamento, canalização de rios e diversos tipos de poluição são apenas algumas das transformações que o espaço natural sofre em um contexto urbano-industrial. Os autores consideram a impermeabilização das superfícies um dos principais impactos ambientais no meio físico urbano.

Como consequência, para Moruzzi *et al*. (2009 *apud* RAMOS *et al*, 2017), tal cenário possui relação com as frequentes enchentes ocorridas em parte das cidades contemporâneas. Tucci (2008) reforça dizendo que o cenário de enchentes está relacionado com o excesso de impermeabilização do solo, as alterações que este provoca nas características do escoamento superficial e também à ocupação inadequada de áreas ribeirinhas (Figura 1).

Figura 1 Resposta do escoamento frente à ocupação de várzea



Fonte: Schueler, 1987 apud Benini, 2015

Christofidis (2010) pondera que o planejamento das ocupações desconsidera aspectos ambientais e os impactos causados pela modificação do ambiente, tanto interna quanto externamente à cidade. Destaca ainda que este planejamento resultou em diversos cursos d'água aterrados ou canalizados para permitir a construção de casas e avenidas sobre eles.

O autor cita ainda uma sequência de acontecimentos relacionados por Wilhelm (1993) no que tange a construção do espaço urbano. Inicialmente, é inevitável que ocorra o desmatamento para a ocupação urbana, entretanto este ocorre indiscriminadamente e sem uma política adequada de arborização ou implantação de parques. Posteriormente, seguem as ações de terraplenagem necessárias ao preparo e parcelamento dos terrenos. Porém esta desconfigura a drenagem natural do terreno e, por consequência, ocorre a erosão que deforma o solo e assoreia os rios. Por fim, a falta de espaço em determinadas cidades levou o poder público a aprovar a ocupação de várzeas em áreas de inundações dos rios, submetendo a população alocada ao flagelo de inundações periódicas (CHRISTOFIDIS,2010).

Para Canholi (2014), as soluções adotadas para tais problemas apresenta caráter localizado, haja visto que a ampliação de canal em um determinado ponto de inundação apenas transfere a vazão jusante, agravando as inundações nessa área. Ou seja, segundo o autor, a várzea requerida pelo rio ou córrego que fora suprimido pelas obras urbanização, será sempre requerida à jusante.

3.2 Inundações em Belo Horizonte

Inundações e enchentes são fenômenos naturais decorrentes de um evento de precipitação intensa de pouca duração em uma bacia hidrográfica. Entretanto, estes fenômenos têm sido agravados pelas alterações antrópicas do processo de urbanização resultando em grandes desastres e prejuízos (REIS et al, 2012).

Segundo Amaral e Ribeiro (2009 *apud* REIS *et al*, 2012), a probabilidade e a ocorrência destes fenômenos devem ser analisadas por um conjunto de condicionantes naturais e antrópicos. Entre os condicionantes naturais destacam-se: (a) relevo; (b) características da rede de drenagem da bacia hidrográfica; (c) intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas; (d) características do solo; e) presença ou ausência da cobertura vegetal.

Fenômenos de cheia são frequentes no município de Belo Horizonte acarretando diversos problemas socioeconômicos (REIS *et al* , 2012) . De acordo com os autores, as enxurradas (escoamento superficial concentrado e de alta energia de transporte) são consideradas fortes condicionantes a esses processos, tendo em vista que a cidade se localiza em região de relevo acidentado, ondulado e bastante impermeabilizado pela urbanização.

Segundo Reis *et al* (2012), a ocorrência de enxurradas é mais comum ao longo de vias implantadas sobre antigos cursos d'água e em terrenos com alta declividade natural. A retificação, canalização e supressão de cursos d'água é uma prática comum no município de Belo Horizonte, implantando vias de acesso importantes para tráfego da cidade em área de várzea.

As obras de urbanização que envolveram o Ribeirão Arrudas, iniciadas nos anos 20, são exemplos de um manejo segmentado e inadequado, do ponto de vista da drenagem sustentável, que gerou um histórico de inundações. Há seguimentos do rio em que este foi completamente canalizado e outros em que canal segue a céu aberto, porém com leito impermeabilizado. As avenidas Tereza Cristina, Contorno e Andradas, construídas ao longo da várzea deste rio e sofrem constantes inundações (Figura 2).

Figura 2 Histórico de inundações do Ribeirão Arrudas



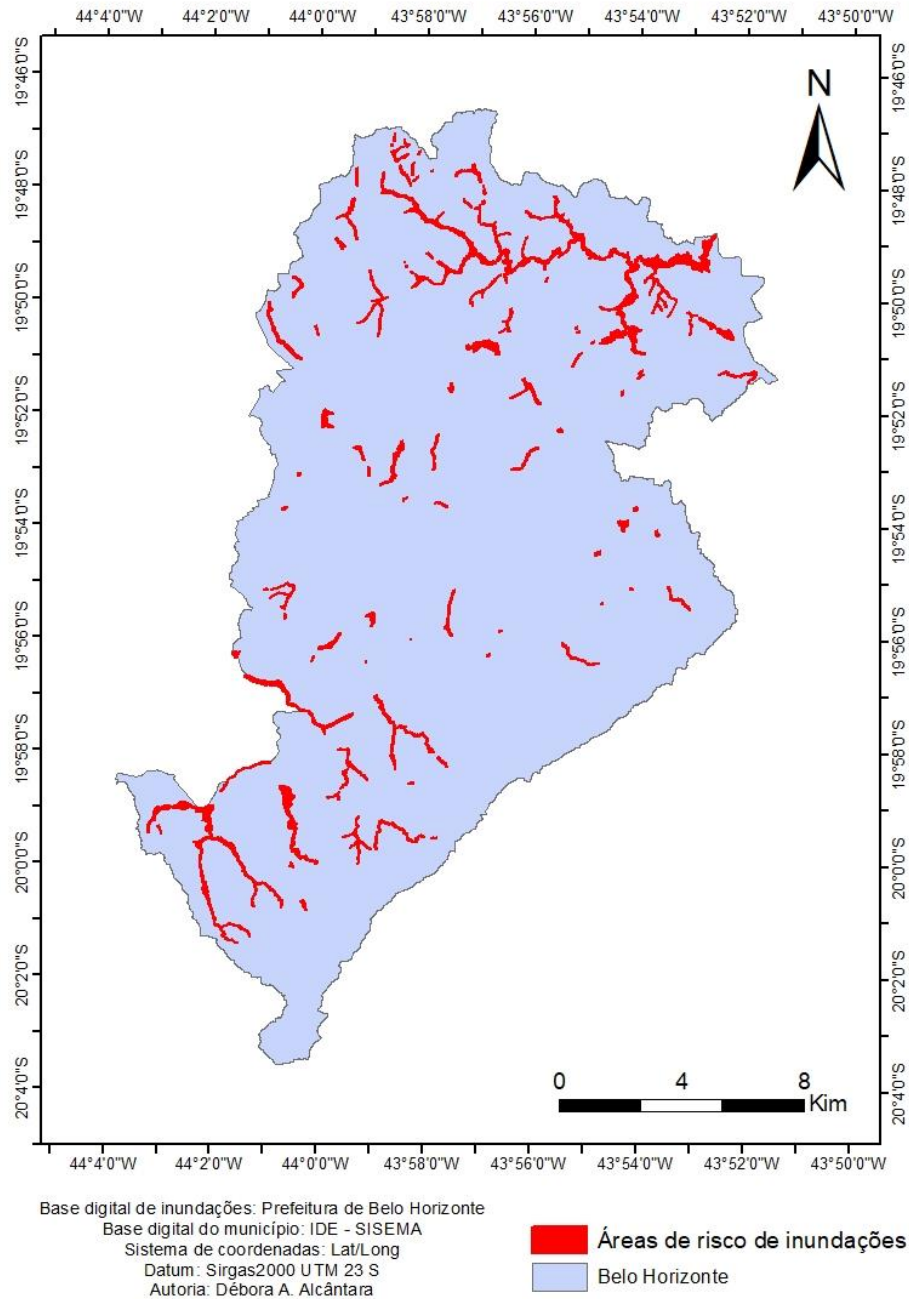
Fonte: Curral del rei e Portal R7

A combinação entre as variáveis relevo, clima e urbanização transformaram diversos pontos da cidade de Belo Horizonte em um ambiente susceptível a alagamentos (Mapa 1). Felipe *et al* (2011) constatou que aproximadamente 75% das áreas de recarga de aquíferos na cidade foram ocupados/impermeabilizados elevando drasticamente o percentual escoado superficialmente. Resultados de pesquisas neste âmbito reforçam a importância da manutenção das áreas de recarga ainda existentes na capital.

Devido às constantes inundações, a Prefeitura de Belo Horizonte têm realizado diversas ações para prevenir/minimizar os danos relacionados como elaboração de uma Carta de inundações elaborada pela Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP), que pode ser acessado no site da prefeitura, instalação de placas de alerta nesses pontos,

vistorias em áreas de risco pela Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte (URBEL), entre outras medidas.

Mapa 1 Áreas de inundação em Belo Horizonte



Cabe ressaltar que pela Lei Nº 12.608 de 2012, em seu Artigo 42-A, inciso IV, o Plano Diretor de municípios incluídos no Cadastro Nacional de áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas, processos geológicos ou hidrológicos devem conter medidas de drenagem urbana necessária à prevenção e à mitigação de impactos de desastres. Contudo, ao passo que ações de controle estruturais, como ampliação de canais, construção de diques e barragens, não têm sido suficientes, uma associação com medidas

indiretas, visando à sustentabilidade planejamento urbano, como a manutenção, preservação e revegetação de áreas verdes mostra-se potencialmente eficaz e necessária.

3.3 Hidrologia

A hidrologia é definida como Ciência que trata da ocorrência, circulação e distribuição da água na Terra, das suas propriedades físicas e químicas e, da sua interação com o meio (WMO, 1982 apud VAZ e HIPÓLITO, 2013). Esta ciência de caráter interdisciplinar evoluiu significativamente à medida que problemas resultantes da utilização inadequada dos recursos hídricos tornaram-se comuns e a ocupação das bacias provocaram impactos ambientais (TUCCI, 2012).

A Hidrologia Aplicada, por sua vez, nasceu da necessidade de solucionar problemas de engenharia relacionados aos recursos hídricos utilizando os princípios da ciência hidrológica. De acordo com Schumann (2014) a função da engenharia no âmbito da hidrologia consiste no fornecimento de base de dados para o planejamento, projeto e operação de instalações de gerenciamento da água e para estruturas dentro e sobre as águas. Como a distribuição dos recursos hídricos apresenta variabilidade espaço-temporal, ora provocando excessos, ora escassez, a hidrologia aplicada busca estabelecer as relações que determinam essa flutuação de recursos (NAGUETTINI e PINTO, 2007).

Tucci (2012) ressalta a importância do papel desempenhado pela hidrologia aplicada quanto a problemas como modificações no solo, regularizações para controle da qualidade da água e os impactos gerados pela ocupação das bacias. Em suma, esta é essencial ao planejamento, projeto e operação do campo da engenharia, desenvolvendo-se em diferentes áreas de estudo, entre elas a drenagem urbana e o planejamento e gerenciamento da bacia hidrográfica.

3.3.1 Ciclo Hidrológico

Denomina-se ciclo hidrológico o fenômeno de circulação contínua e fechada da água entre o subsolo, superfície e atmosfera terrestre. Este se configura como objeto de estudo da hidrologia e diferentemente do que ocorre em outras áreas da engenharia, por se tratar de um fenômeno natural, o controle dos processos que integram o ciclo hidrológico são baixos e até mesmo nulos (VAZ e HIPÓLITO, 2013).

São processos básicos componentes do ciclo hidrológico a (a) condensação, (b) precipitação, (c) infiltração, (d) escoamento superficial e (e) evapotranspiração, representados na Figura 3.

Figura 3 Representação do ciclo hidrológico



Fonte: USGS (adaptada), 2016.

A primeira fase do ciclo ocorre com a condensação do vapor d'água na atmosfera que liga-se a sais e partículas higroscópicas, formando nuvens por aglutinação. O choque entre as gotículas da origem à precipitação (TUCCI, 2012), segunda fase do ciclo. Esta pode ocorrer na forma de chuva, neve, granizo ou orvalho. A precipitação pode ficar retida na folhagem e troco da vegetação. Este armazenamento é denominado interceptação. Grande parte do volume armazenado retorna à atmosfera em forma de vapor, a outra parte esco lentamente pelo tronco ou folhas até o solo, com menor velocidade, favorecendo a infiltração.

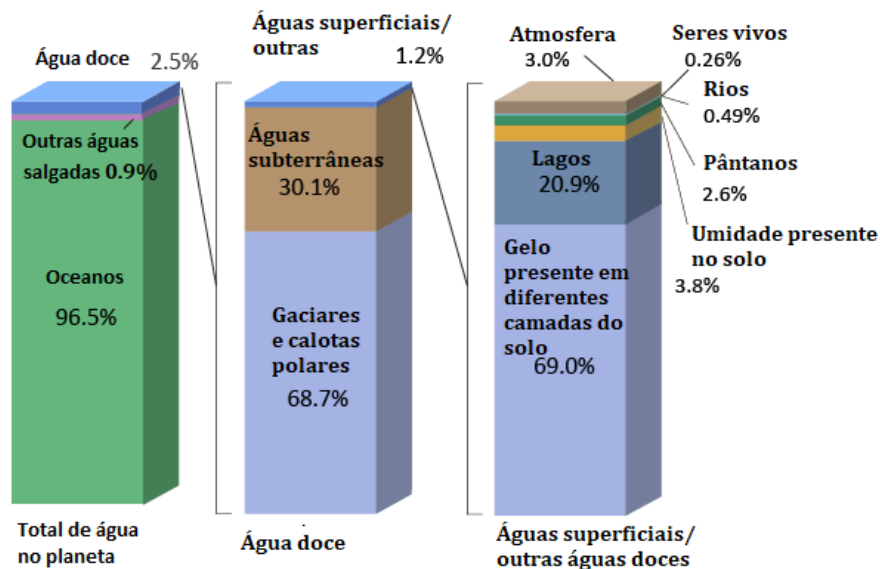
Do volume infiltrado a parte retida nos poros superficiais irá evaporar, parte irá compor o escoamento sub-superficial e a terça parte poderá percolar até as camadas mais profundas do solo até os aquíferos.

O escoamento superficial, por sua vez, se inicia a partir do momento em que o solo atinge sua capacidade máxima de absorção. Pode ser entendido como o excesso do volume precipitado. Acumula-se inicialmente em depressões do terreno e, posteriormente, esco pela ação da gravidade para as cotas mais baixas, em direção ao leito do rio.

A última fase do ciclo consiste na evapotranspiração que agrupa a evaporação e a transpiração. A evaporação se dá na mudança de estado da água armazenada na camada mais superficial solo, nas plantas ou em outra superfície, devido à energia da radiação solar. A transpiração é eliminação da água pelas plantas, em forma de vapor. Esses dois processos encerram o ciclo hidrológico com o retorno da água à atmosfera.

Como mencionado anteriormente, este é um ciclo fechado dentro do planeta Terra, e a distribuição espacial da água, de acordo com a USGS (2017), ocorre de acordo com o diagrama representado na Figura 4.

Figura 4 Distribuição espacial da água em percentual



Fonte: USGS (adaptado). Nota do autor: os valores foram arredondados, portanto a somatória dos percentuais não dão 100%.

A lei fundamental da hidrologia, conhecida por balanço hídrico, é a aplicação do princípio da conservação de massa traduzido pela equação da continuidade, considerando certa região geográfica em um determinado período de tempo (VAZ e HIPÓLITO, 2013). Esta é escrita em função das variáveis hidrológicas, de acordo com a equação 1:

$$(P + Qe) - (Qs + I + E + ET) = \Delta V \quad (1)$$

Onde P é precipitação (mm)

Qe vazão de entrada no sistema (m³/h)

Qs vazão de saída do sistema (m³/h)

I infiltração (mm)

E evaporação (mm)

E evapotranspiração (mm)

ΔV variação total do volume armazenado (m^3).

3.3.1.1 *Abstrações Hidrológicas x Cobertura vegetal: Intercepção e Infiltração*

Denomina-se intercepção a retenção de parte do volume precipitado acima da superfície do solo. Christofidis (2010) salienta que a intercepção ocorre tanto em superfícies naturais, como em dossel de árvores, quanto em superfícies antropizadas, em edifícios.

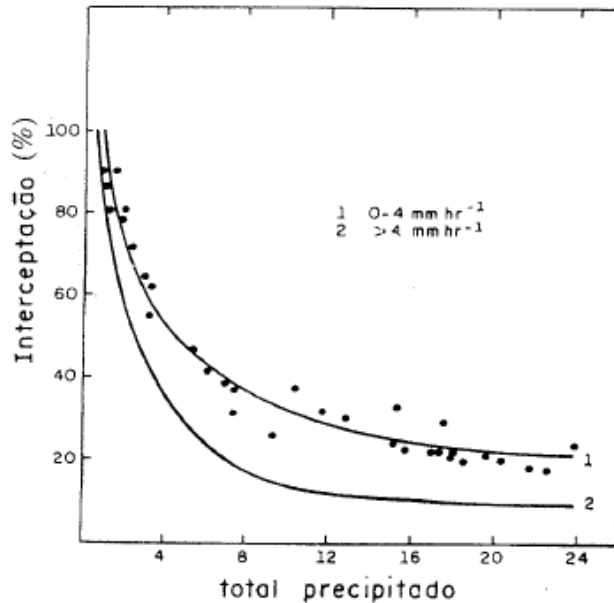
De acordo com Tucci (2012), a intercepção interfere no balanço hídrico da bacia hidrográfica, funcionando como um reservatório que armazena uma parcela da precipitação. A tendência é de que a intercepção reduza a variação da vazão ao longo do ano, retarde e reduza o pico das cheias (TUCCI, 2012).

A intercepção vegetal é definida como a retenção da precipitação pelo dossel da vegetação (TUCCI, 2002), enquanto a precipitação interna é o percentual que atravessa a folhagem atingindo o solo.

A intercepção vegetal é capaz de reduzir a energia das gotas precipitadas, o que minimiza o efeito *splash* (impacto das gotas na superfície), e favorece a infiltração, evitando ainda a compactação do solo e processos erosivos (ALBUQUERQUE e COSTA, 2012).

As características da precipitação e condições climáticas, tipo e densidade da vegetação e período do ano são variáveis a se considerar na intercepção vegetal (TUCCI, 2012). De acordo com a literatura, as principais características da precipitação que influenciam no processo são a intensidade e o volume precipitado. O percentual interceptado é inversamente proporcional à intensidade da chuva, como pode visto no gráfico representado na Figura 5.e na Tabela 1 O tipo de vegetação caracteriza a quantidade de gotas que cada folha pode reter e a densidade da mesma indica o volume retido numa superfície de bacia.

Figura 5 Relação entre interceptação-intensidade-precipitação



Fonte: Blake, 1975 apud Tucci, 2012.

O dossel da vegetação possui maior capacidade de interceptação da precipitação, mas a disposição dos troncos contribui significativamente. Sari *et al* (2015) diversas pesquisas quantitativas referentes a interceptação vegetal, as quais demonstram que os valores interceptados pela vegetação mata atlântica podem variar entre 4,20 e 52,40% da precipitação incidente. O valor mediano referente a esse compilado mostra um percentual de interceptação de 20,65%.

Arcova *et al.* (2003) constataram que a interceptação atingiu o máximo de 18,6% da precipitação externa em floresta de Mata Atlântica, enquanto em área de Capoeira no Estado do Paraná, a interceptação chegou a 36% (THOMAZ, 2011 *apud* ALBUQUERQUE E COSTA, 2012).

Sari *et al* (2016) destacam que a vegetação do tipo Mata Atlântica apresenta particularidades que dificultam a estimativa do processo de interceptação. Os autores citam a ocorrência de pontos de gotejamento (*drippoints*) e de caminhos preferenciais em razão do elevado número de espécies vegetais presentes e também, pelo entrelaçamento existente entre os galhos, que contribuem para a alta heterogeneidade dos processos de distribuição da precipitação interna.

O resultado obtido pelos referidos autores (Tabela 1) mostra uma interceptação de até 78,42% para uma chuva de baixa intensidade (6,0 mm).

Tabela 1 Porcentagem de chuva interceptada

Parcela	Variável	Total	Mínimo	Máximo
MA1*	P (mm)	2046,5	3,80	177,00
	Pi (% de P)	75,97	19,32 (P=6,00)	89,14 (P=38,00)
	Et (%de P)	5,69	0,53 (P=9,44)	10,51 (P=73,48)
	I (mm)	363,42	0,72	26,94
	I (% de P)	17,76	0,98 (P=73,50)	78,42 (P=6,00)
MA2*	P (mm)	1726,23	1,89	149,91
	Pi (% de P)	82,4	51,19 (P=6,61)	96,55 (P=149,91)
	Et (%de P)	2,91	0,44 (P=6,61)	4,96 (P=81,51)
	I (mm)	291,71	0,55	26,21
	I (% de P)	16,9	2,81 (P=78,43)	48,37 (P=6,61)

*MA1 e MA2 _ Mata Atlântica 1 e 2; correspondem às áreas de estudo da pesquisa.

Fonte: Sari *et al.*, 2016 (adaptada)

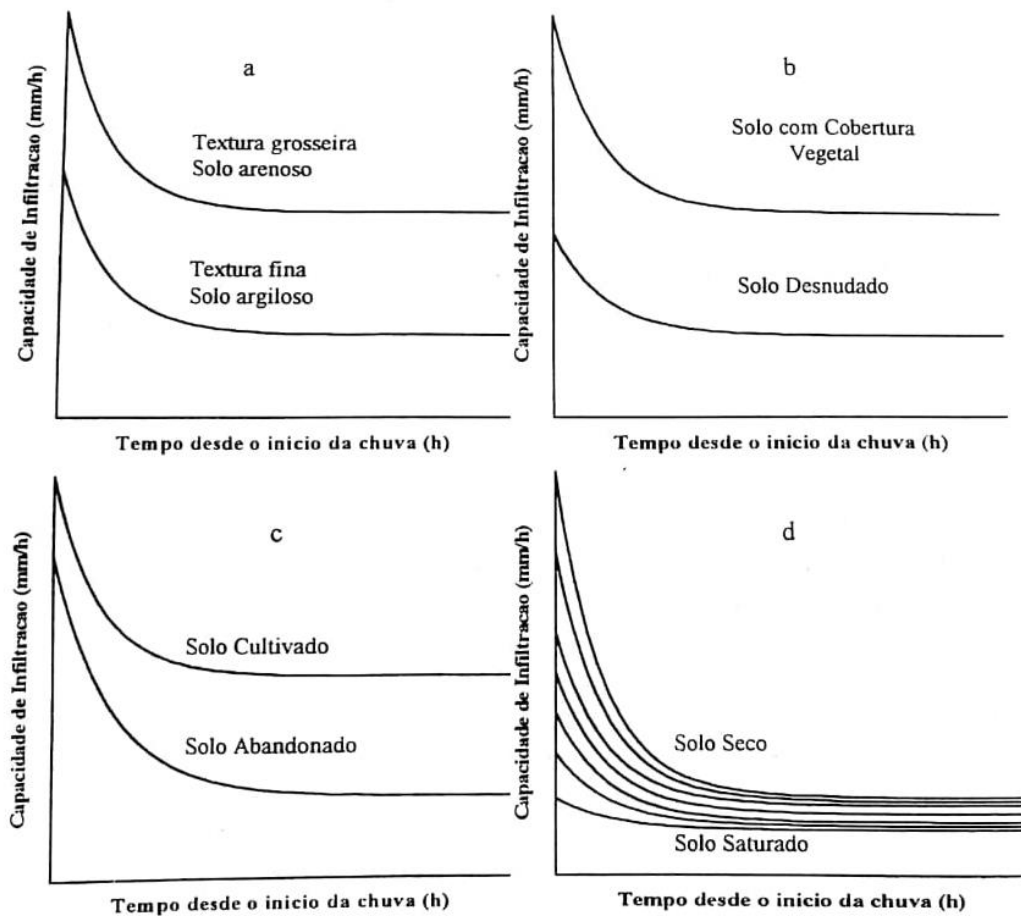
Tucci (2012) destaca a importância da quantificação dos impactos da mudança de cobertura do solo, principalmente em regiões em desenvolvimento, mas assim como outros autores, afirma que há dificuldade em quantificar efetivamente o processo de interceptação vegetal devido à magnitude desta variável no ciclo hidrológico quando comparada as demais.

As perdas por infiltração, por sua vez, estão associadas principalmente ao tipo de solo, seu manejo e cobertura além da duração e intensidade do evento chuvoso. Denomina-se infiltração a penetração da água nas camadas superficiais do solo. O movimento descendente da água nas camadas mais profundas do solo caracteriza a percolação.

Para uma precipitação hipotética constante, a capacidade de infiltração é reduzida durante a duração da chuva. Este comportamento se dá pela saturação das camadas superiores do solo, atingindo seu potencial máximo de absorção (TUCCI, 2012), quando inicia-se o escoamento superficial.

A distribuição granulométrica e o índice de vazios (poros) são fatores determinantes da capacidade de infiltração. Um solo arenoso, por exemplo, possui maior capacidade se comparado a um argiloso, devido à dimensão das partículas constituintes que ocasionam maior amplitude dos poros (Figura 6a). Tal como as características naturais do solo, o manejo do mesmo pode interferir significativamente em sua permeabilidade. Na Figura 6b pode-se ver que a presença de cobertura vegetal proporciona maior capacidade de infiltração, tanto pela atenuação do efeito de compactação, quanto pela criação de fissuras no solo pelas raízes.

Figura 6 Fatores intervenientes na variação da capacidade de infiltração



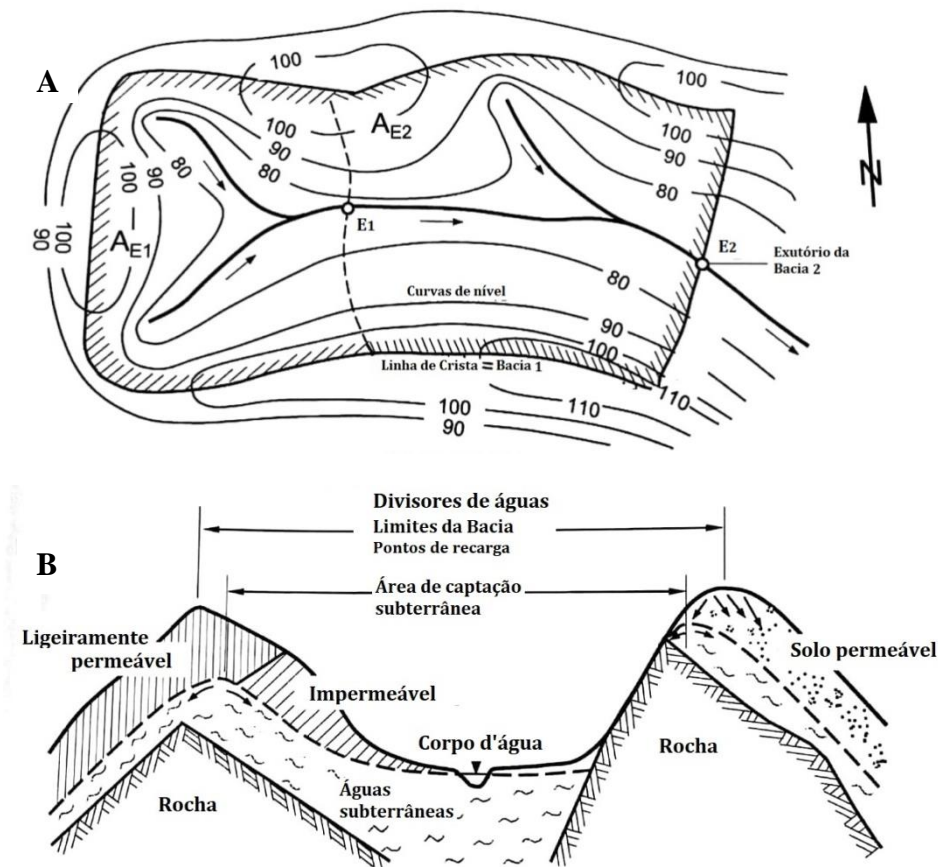
Fonte: Naghettini, 1997

A relevância destas variáveis neste trabalho é a sua relação com o escoamento superficial, visto que a presença de vegetação em uma determinada área afeta tanto a proporção em que a precipitação torna-se escoamento superficial, bem como a velocidade com que este é escoado atingindo a rede pública de drenagem (TUCCI, 2012).

3.3.2 Bacia Hidrográfica

Entende-se por Bacia Hidrográfica uma área de captação natural da água da chuva, definida topograficamente, onde o volume precipitado esco das cotas mais elevadas convergindo a um único ponto de saída, na cota mais baixa do terreno, o exutório, representado por E1 e E2 na Figura 7A (TUCCI, 2012).

Figura 7 Representação de uma Bacia hidrográfica e seus elementos componentes



Fonte: Schumann, 2014 (adaptada).

A bacia hidrográfica é delimitada pelas cristas das elevações do terreno, os topos de morro, que funcionam como divisores do fluxo de escoamento e áreas de recarga de águas subterrâneas, como representado na Figura 7B. É composta, de acordo com Tucci (2012), por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada pelos corpos d'água que confluem até um leito único.

A rede de drenagem dentro de uma bacia é composta por um rio principal e seus afluentes, denominados tributários. Estes transportam a precipitação efetiva e os sedimentos escoados pelas vertentes para fora da bacia. Uma bacia é constituída por bacias menores, chamadas sub-bacias como pode ser visto na Figura 7A. O ponto E1 representa o exutório da bacia AE1, que é uma sub-bacia da bacia principal cujo exutório é E2. A drenagem das sub-bacias e bacias principais ocorre de maneira sequencial pelos respectivos exutórios até chegarem aos oceanos.

O ciclo hidrológico é normalmente estudado considerando os limites da bacia como área de interesse. O Conselho Nacional de Recursos Hídricos, de acordo com a Resolução nº

32 de 15 de outubro de 2003, divide o Brasil em 12 bacias hidrográficas. O município de Belo Horizonte está inserido na Bacia do rio das Velhas, sub-bacia do rio São Francisco (Figura 8).

Figura 8 Localização de Belo Horizonte dentro da Sub-bacia do rio das Velhas, Bacia do rio São Francisco



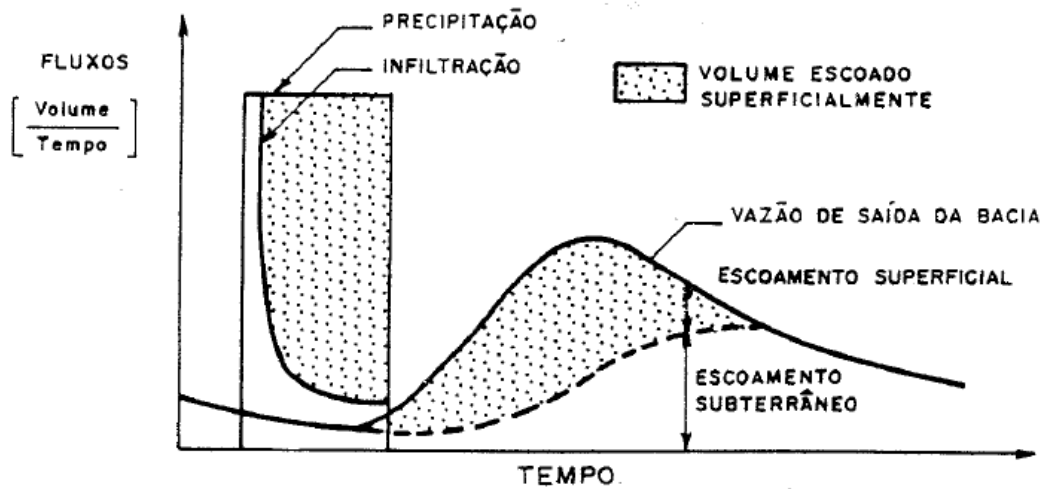
Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas

3.3.2.1 *Bacia Hidrográfica como sistema*

Conforme Tucci (2012), a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a precipitação é o volume de entrada e o volume escoado pelo exutório o de saída. O volume infiltrado, percolado, retido pela interceptação e evaporado é considerado uma perda no sistema. Analisando a bacia como um sistema, para um evento isolado, é possível analisar e determinar a transformação da chuva em vazão.

Portanto, a função hidrológica exercida pela bacia hidrográfica é transformar uma entrada de volume concentrado no tempo (chuva) em uma saída de água (escoamento) de forma melhor distribuída no tempo (TUCCI, 2012). Para análise destas variáveis no tempo são utilizados o Hidrograma (vazão \times tempo) e o Hietograma (precipitação \times tempo) representados de forma genérica na Figura 9.

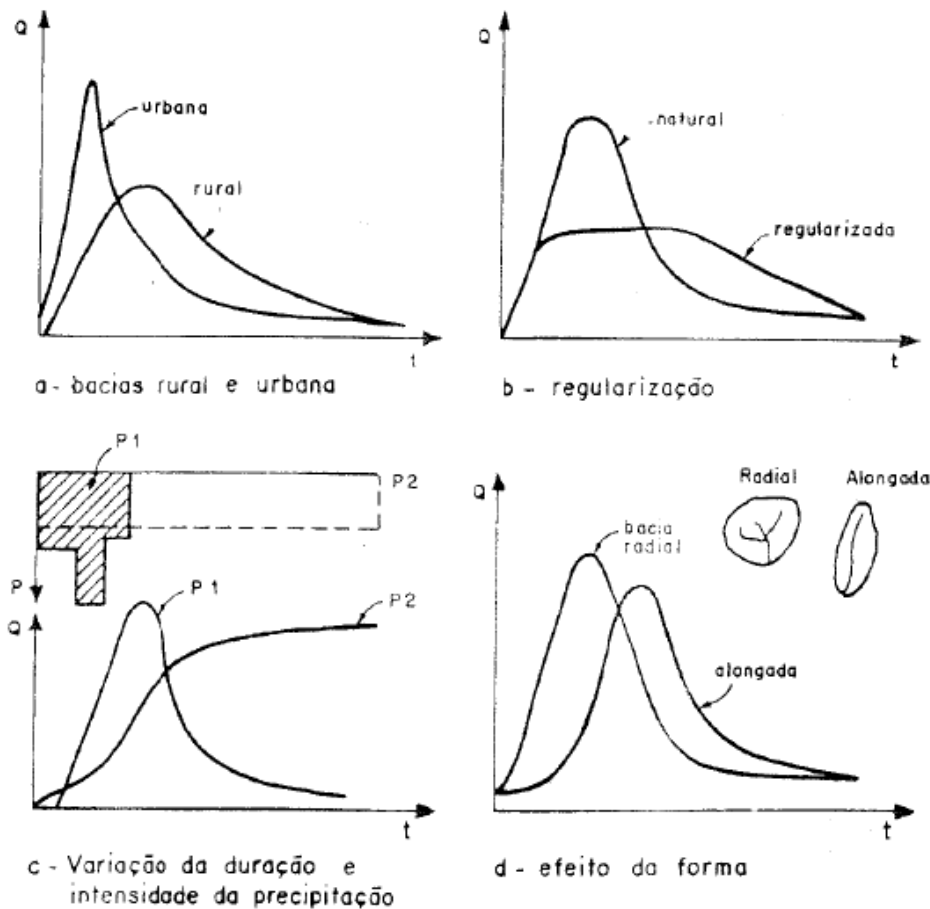
Figura 9 Resposta hidrológica da bacia hidrográfica



Fonte: Tucci, 2012.

Cabe conceituar algumas variáveis importantes na análise de um hidrograma. Denomina-se tempo de concentração de uma bacia o tempo necessário para que a água precipitada no ponto mais distante da bacia se desloque até o ponto principal (TUCCI, 2012). Este é inversamente relacionado à intensidade da precipitação, quanto menor o tempo de concentração, maior é a intensidade da precipitação (TUCCI, 2005). O relevo da bacia e o comprimento do rio principal também influenciam diretamente na vazão de pico, maior valor de vazão para um dado evento chuvoso. Um terreno íngreme favorece o escoamento superficial e eleva a velocidade com que este atinge as cotas baixas. Já no que se refere ao comprimento do rio principal, quanto menor, maior será a concentração do escoamento no leito, aumentando a vazão de pico. Na Figura 10, a seguir, Tucci (2012) representa esquematicamente os fatores que interferem na distribuição da vazão.

Figura 10 Fatores intervenientes em um Hidrograma



Fonte: Tucci, 2012

3.3 Drenagem urbana

A Política Nacional de Saneamento Básico - Lei 11.445 (BRASIL, 2007), define drenagem urbana como:

O conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, responsável pela detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas (BRASIL, 2007).

Apesar da elaboração de legislações, instruções normativas e diretrizes, como os planos diretores municipais, Ramos *et al* (2017) considera que a abordagem da drenagem urbana ocorre em proporções menores quando comparada aos demais serviços relacionados às águas em ambiente urbano, como tratamento de esgoto e abastecimento de água potável. Essa desproporcionalidade entre os temas contribuem para a fragilização das tomadas de decisão e intervenções neste âmbito.

Os sistemas de drenagem surgiram juntamente com a urbanização. As modificações no uso do solo e, principalmente a impermeabilização deste, provocam alterações no ciclo hidrológico minorando o volume infiltrado, elevando o escoamento superficial e as vazões de pico dentro das bacias (TUCCI, 2007).

Christofidis (2010) classifica o método de aplicação de drenagem urbana brasileira como errônea, não só pela adoção de sistemas estruturais de escoamento rápido, denominada drenagem higienista, como também pelo projeto das redes a partir de trechos isolados, forjando um planejamento desarticulado, e uma realocação do problema, conforme Canholi (2014).

Ainda de acordo com Christofidis (2010), é necessário que os sistemas urbanos em geral, sejam discutidos do ponto de vista da sustentabilidade por serem agentes transformadores do ambiente natural. Neste contexto, Benini (2015) discorre sobre a importância da incorporação de estruturas verdes na elaboração dos planos de drenagem como medidas de controle. Para ela, as infraestruturas verdes consistem em uma alternativa técnica e ecológica, que agrega aos espaços públicos os valores da multifuncionalidade (drenagem urbana, serviços ambientais, equilíbrio e convivência com a natureza, lazer e recreação, dentre outros) contribuindo para a qualidade ambiental das cidades.

3.3.1 Medidas de Controle

Denomina-se Medida de Controle ações antrópicas de correção e/ou prevenção que se propõe a minimizar os danos das inundações (CANHOLI, 2014). De acordo com Tucci (2005) para transpor a barreira da aplicação da drenagem higienista, a adoção de medidas de controle devem considerar as seguintes premissas:

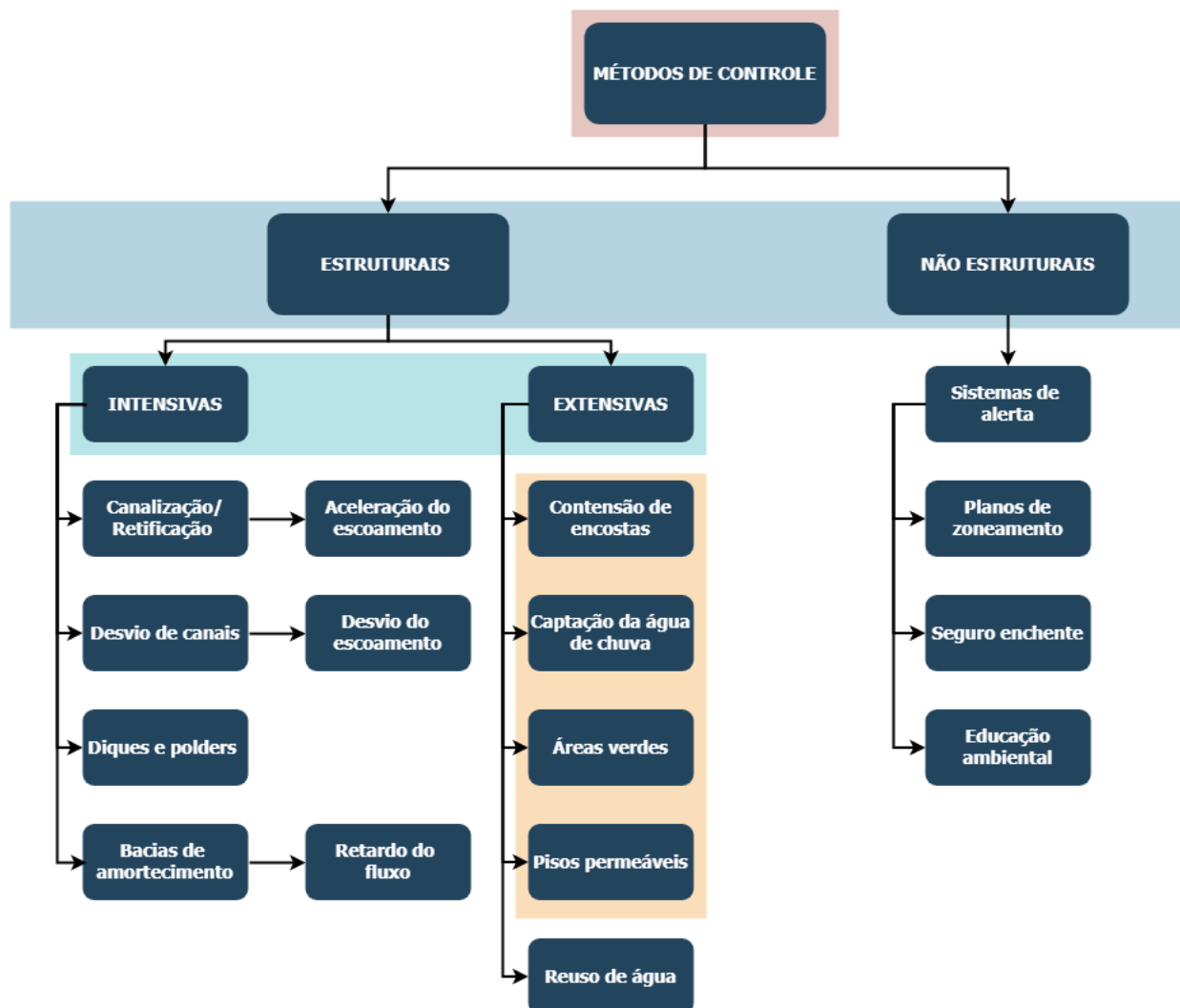
- O aumento de vazão devido à urbanização não deve ser transferido para jusante;
- Deve-se priorizar a recuperação da infiltração natural da bacia;
- A bacia hidrográfica deve ser o domínio físico de avaliação dos impactos resultantes de novos empreendimentos, visto que a água não respeita limites políticos;
- O horizonte de avaliação deve contemplar futuras ocupações urbanas;
- As áreas ribeirinhas somente poderão ser ocupadas a partir de um zoneamento que contemple as condições de enchentes;

As medidas são classificadas em estruturais e não estruturais, conforme sua natureza. Botelho (2011 *apud* Benini, 2015) esclarece que

[...] são usualmente classificadas em estruturais, quando o homem altera o sistema fluvial, através de obras hidráulicas, como barragens, diques, canalização e retificação; em não estruturais, quando o homem busca uma convivência harmônica com o rio, através da elaboração de planos de uso e ocupação e zoneamentos de áreas de risco à inundação, sistemas de alerta e seguros-enchentes (BOTELHO, 2011 *apud* BENINI, 2015, p. 94).

As medidas estruturais se subdividem ainda em intensivas e extensivas conforme representado no diagrama da Figura 11.

Figura 11 Principais medidas de controle de inundações



Fonte: Benini, 2015; Canholi, 2014 (adaptada)

Canholi (2014) considera consistente o planejamento de ações de melhoria e controle dos sistemas de drenagem urbana quando este prevê uma combinação harmoniosa entre medidas estruturais e não estruturais. Para Tucci (2005) as medidas devem ser preferencialmente não estruturais. Em casos em que medidas estruturais sejam imprescindíveis, deve-se priorizar a aplicação de medidas extensivas.

3.3.2 Infraestruturas Verdes aplicadas à Drenagem Urbana

Devido ao colapso atingido pelo sistema atual de drenagem urbana, Tucci (2005), Christofidis (2010), Canholi (2014), Benini (2015), entre outros autores, alegam que torna-se imprescindível o planejamento urbano partindo de uma visão sistêmica, priorizando o conceito de cidades sustentáveis¹, e optando, sempre que possível, por mecanismos alternativos que contribuam para os processos hidrológicos de infiltração e percolação (Benini, 2015). Benini (2015) cita como exemplo de mecanismos alternativos a bacia ou reservatório de amortecimento, a bacia de infiltração, bacia de detenção, bacia de retenção, pavimentos porosos, dentre outros.

Neste contexto insere-se a Infraestrutura Verde. Benini (2015) explica que as técnicas supracitadas “estão sendo consideradas como tipologias da infraestrutura verde, por serem compreendidas como mecanismos alternativos ecológicos para controle da drenagem urbana”.

A autora afirma que a infraestrutura verde é um conceito que tem se tornado mais abrangente nos últimos anos. A incorporação da infraestrutura verde pode ser entendida como uma rede interconectada de áreas verdes naturais e outros espaços abertos, dotadas ou não de mecanismos alternativos, as quais conservam as funções ecológicas. Quando são utilizadas em um projeto urbano, são capazes de inserir, conservar ou recuperar a estrutura ecológica do local de intervenção.

Cabe ressaltar que o uso da infraestrutura verde em projetos de intervenção relacionados à drenagem urbana apresenta potencial de contribuir para a resiliência das cidades frente à ocorrência de eventos climáticos, como inundações, além de evitar deslizamentos, com a revegetação de encostas. Inúmeros são os benefícios de utilização da infraestrutura verde (áreas verdes vegetadas e mecanismos alternativos), que transcendem a esfera da drenagem urbana, como:

promover a infiltração, detenção e retenção das águas das chuvas no local, evitando o escoamento superficial; filtrar as águas de escoamento superficial nos primeiros 10 minutos da chuva, provenientes de calçadas e vias pavimentadas contaminadas por resíduos [sólidos em geral] [...]; permitir a permeabilidade do solo; prover habitat para a biodiversidade; amenizar as temperaturas internas em edificações e mitigar as

1 “O conceito de cidade sustentável reconhece que a cidade precisa atender aos objetivos sociais, ambientais, políticos e culturais, bem como aos objetivos econômicos e físicos de seus cidadãos. É um organismo dinâmico tão complexo quanto à própria sociedade e suficientemente ágil para reagir com rapidez às suas mudanças que, num cenário ideal, deveria operar em ciclo de vida contínuo, sem desperdícios [...]. A cidade sustentável deve operar segundo um modelo de desenvolvimento urbano que procure balancear, de forma eficiente, os recursos necessários ao seu funcionamento, seja nos insumos de entrada (terra urbana e recursos naturais, água, energia, alimento, etc.), seja nas fontes de saída (resíduos, esgoto, poluição, etc.).” (LEITE; AWAD, 2012, p. 135)

ilhas de calor; [...] conter encostas e margens de cursos d'água para evitar deslizamentos e assoreamento. (HERZOG, 2010)

Com base nisto, alguns autores propõem que o planejamento da infraestrutura verde deve ser associado ao planejamento de bacias hidrográficas, onde na escala regional essa rede de espaços é composta de parques, corredores verdes e espaços naturais preservados, que ao serem incorporados nos princípios da ecologia da paisagem e do planejamento de bacias, podem tornar-se a base para um sistema de infraestrutura verde. Não obstante, esta rede pode expandir-se, quando se empregam “os sistemas naturais para atender aos desafios de readequação da infraestrutura urbana já implantada, especialmente aqueles relacionados à drenagem e à qualidade da água”. (CORMIER e PELLEGRINO, 2008).

Benini (2015) afirma que nas últimas décadas, os programas de políticas públicas têm considerado os espaços verdes com maior frequência, o que pode ser atribuído a uma maior percepção ambiental. A autora salienta que dentre as tipologias dos espaços verdes permeáveis, destacam-se com grande potencial as áreas verdes públicas (jardins, parques urbanos, parques lineares, corredores verdes), que apresentem algum tipo de vegetação (espontânea ou plantada), que possam prestar serviços ambientais e que também sejam utilizadas com objetivos sociais, ecológicos, científicos ou culturais.

Os parques lineares e os corredores verdes são tipologias de áreas verdes públicas de menor escala inseridas no tecido urbano. Herzog (2010) define os parques lineares como espaços verdes multifuncionais conectados que devem ter vegetação adequada às condições variáveis de umidade e ser nativa. Para ela os corredores verdes, além de proteger e manter a biodiversidade, desempenham “função de infiltrar as águas das chuvas, evitar o assoreamento dos corpos d'água, [...]”. (HERZOG, 2010).

Diante do exposto, para o planejamento público com abordagem de infraestrutura verde, o manejo das áreas verdes deve considerá-las como redes verdes interconectadas, “tendo nos grandes parques e áreas protegidas suas ‘áreas-núcleo’ principais, nos parques lineares, ruas e avenidas arborizadas seus “corredores verdes”, funcionando como tentáculos ou *links* de conexão” (BENINI, 2015).

3.3.3 Métodos de cálculo de vazão de pico

O cálculo da vazão de pico pode ser realizado com base na precipitação, por métodos que representem os principais processos de transformação desta em vazão e pelo método racional, que engloba todos os processos em um coeficiente denominado coeficiente de escoamento ou coeficiente de perdas (C).

3.3.3.1 Método Racional

Este método é utilizado para estimar vazões de pico em bacias até 2 km² e tem como princípios básicos (a) considerar a duração da precipitação intensa de projeto igual ao tempo de concentração; (b) adotar um coeficiente único de perdas, estimado com base nas características da bacia; e (c) não avaliar o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões (TUCCI, 2012). O método racional é aplicado pela equação 2:

$$Q_p = 0,278 \times C \times i_m \times A \quad (2)$$

Onde Q é a vazão em m³/s;

C - Coeficiente de escoamento;

i_m - A intensidade da chuva crítica (mm/h);

A - Área de drenagem considerada (Km²).

A precipitação é obtida através das curvas de intensidade-duração-frequência (método IDF) do local do estudo. O coeficiente de escoamento pode ser determinado com base na precipitação, tipo de solo e superfície impermeável da bacia, conforme os valores de referência da Tabela 2:

Tabela 2 Valores de referência do Coeficiente de Escoamento Superficial utilizados em São Paulo.

Zonas	Valor de C
Edificação muito densa: partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas.	0,70 a 0,95
Edificação não muito densa: partes adjacentes ao centro, de menos densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas.	0,60 a 0,70
Edificações com poucas superfícies livres: pares residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas.	0,50 a 0,60
Edificações com muitas superfícies livres: partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas.	0,25 a 0,50
Subúrbios com alguma habitação: partes de arrabaldes e suburbanos com pequena densidade de construção.	0,10 a 0,25
Matas, parques e campos de esportes: partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esportes sem pavimentação.	0,05 a 0,20

Fonte: Tucci, 2012 (adaptada)

Em situações em que a bacia apresenta uma ocupação do solo muito variada, deve-se aplicar a média ponderada dos diferentes valores de coeficiente de escoamento em relação às suas respectivas áreas.

3.3.3.2 Método Soil Conservation Service

O método do *Soil Conservation Service* (SCS) é de aplicação mais complexa, em comparação com o método racional, especialmente em relação à atribuição do número do escoamento (número da curva, CN), que, tal como o coeficiente de escoamento (C), caracteriza as condições biofísicas da bacia hidrográfica (MATA-LIMA *et al*, 2007).

A atribuição do CN está associada à constituição geológica da área, ao tipo de ocupação e uso do solo, e da umidade antecedente. Segundo a classificação do SCS os tipos de solo são classificados conforme Tabela 3.

Tabela 3 Classificação dos tipos de solo

Grupo Hidrológico	Descrição do solo	Capacidade de infiltração (cm/h)
A	Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila. Teor de argila até 10%;	1,20 - 0,80
B	Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos do que o tipo A e com permeabilidade superior à média. Teor de argila 10% -20%;	0,80 - 0,40
C	Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo. Teor de argila 20% - 30%;	0,40 - 0,15
D	Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.	0,15 - 0,00

Fonte: Tucci, 2012 e Canholi, 2014 (adaptado).

Com base nos tipos hidrológicos do solo, o CN pode ser encontrado, ou calculado em casos de ponderação de área, tendo como base os valores da Tabela 4.

Tabela 4 Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas

Utilização ou cobertura do solo		A	B	C	D
Zonas cultivadas	sem conservação do solo	72	81	88	91
	com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos baldios	má condições	68	79	86	89
	boas condições	39	61	74	80
Prado	boas condições	30	58	71	78
Bosque ou zonas florestais	cobertura ruim	45	66	77	83
	cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados parques, campos de golf, cemitérios,	Boas condições com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
	boas condições com relva de 50% a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais					
lotes (m ²)	% média impermeável				
<500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
Parques de estacionamentos, telhados, viadutos, etc		98	98	98	98
Arruamentos e estradas	asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
	Paralelepípedos	76	85	89	91
	Terra	72	82	87	89

Fonte: Tucci, 2012 (adaptada).

A partir dos valores de CN apropriados ao local de estudo, calcula-se o tempo de concentração da bacia e a vazão de pico.

3.4 Geotecnologias

O uso de imagens de satélite em alta resolução foi popularmente difundido a partir de 2005, pelo programa *Google Earth*. Desde então qualquer cidadão que tenha acesso à internet pode visualizar qualquer ponto do globo e desfrutar da gama de possibilidades disponíveis no

programa. Não obstante, as geotecnologias já se faziam presentes no âmbito acadêmico e posteriormente em agências de gerenciamento/gestão (ESRI, 2018).

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) surgiram na década de 1960 à medida que se desenvolviam os computadores e os conceitos de geografia quantitativa e computacional. Em 1963, contratado pelo Canadá, Roger Tomlinson planejou e desenvolveu um sistema capaz de armazenar e processar grande quantidade de dados. Através deste sistema, denominado por ele de *Geographic Information System (GIS)*, o Canadá iniciou seu gerenciamento de uso do solo (ESRI, s.d.).

O uso do GIS (ou SIG) permite ao usuário efetuar diversos tipos análises espaciais com aplicações distintas. De acordo com Bill (1999):

*Ein Geo-Informationssystem ist ein rechnergestütztes System, das aus Hardware, Software, Daten und den Anwendungen besteht. Mit ihm können raumbezogene Daten digital erfasst und redigiert, gespeichert und reorganisiert, modelliert und analysiert sowie alphanumerisch und graphisch präsentiert werden.*²

Kenawy (2005) esclarece que a escolha dos dados e o processamento dos mesmos dependem diretamente do objetivo da análise. Ressalta ainda que o uso dessas tecnologias proporciona uma economia significativa de tempo e recurso financeiro.

Dentro desse contexto, diversos programas capazes de processar dados espaciais foram desenvolvidos. Novas ferramentas foram desenvolvidas, ampliando os campos de utilização desses sistemas.

Dentre as diversas possibilidades de aplicação dessas geotecnologias estão o monitoramento e gerenciamento de áreas, construção de base histórica, identificação de modificações naturais e antrópicas, delimitação de áreas de interesse e elaboração de mapas com pluralidade de temas. São cada vez mais utilizadas na gestão pública e em análises ambientais como afirmado por Ribeiro *et al* (2009):

Avanços recentes na área das geotecnologias têm oferecido recursos [...] para gestão urbana e ambiental, incluindo dados de sensoriamento remoto e recursos computacionais para seu processamento, possibilitando gerar produtos cartográficos de alta qualidade e ricas bases de dados (RIBEIRO *et al*, 2009).

3.4.1 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento remoto é definido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI/INPE, 2006) como a utilização de equipamentos denominados sensores, que são capazes

² Um sistema de informações geográficas é um sistema computadorizado que consiste em *hardware*, *software*, dados e aplicativos. Com ele, os dados espaciais podem ser gravados e editados digitalmente, armazenados e reorganizados, modelados e analisados e apresentados de forma alfanumérica e gráfica (BILL, 1999 *apud* Kenawy, 2005).

de converter a energia emitida por objeto em sinal, para aquisição de informações sobre esses objetos de estudo sem que haja contato direto entre eles. Mais especificamente conceituado como "conjunto das atividades relacionadas à aquisição e a análise de dados de sensores remotos" (DPI/INPE, 2006).

Estes equipamentos designados sensores remotos são sistemas capazes de detectar e registrar, como imagem ou sinal, a radiação eletromagnética emitida ou refletida por um objeto.

O espectro eletromagnético é subdividido em faixas que representam regiões com características próprias (comprimento de onda, frequência ou energia), em termos de processos físicos de detecção de energia: Raios γ ; Raios X; Ultravioleta; Visível (azul, verde, vermelho); Infravermelho (próximo, médio e distante); Microondas e Ondas de Rádio. Destacam-se entre essas a faixas do visível, o infravermelho próximo, médio e distante e as micro-ondas como de maior aplicabilidade em Sensoriamento Remoto (MARCUSSEI *et al*, 2010).

Qualquer elemento, com temperatura superior a zero absoluto, emite radiação eletromagnética como resultado de suas oscilações atômicas e moleculares. Os processos de emissão, absorção, reflexão e transmissão que ocorrem de forma simultânea têm intensidades distintas de acordo com as características físico-químicas do elemento. Deste modo, caracterizam o elemento sob análise. Ou seja, o Sensoriamento Remoto utiliza deste comportamento espectral do elemento para realizar a distinção entre eles (DPI/INPE, 2006).

3.4.2 Aplicações em Gestão Urbana e Ambiental

A aplicação de SIGs associada a outros *softwares* de mapeamento tornou-se uma ferramenta poderosa de gestão do espaço posto que permite não apenas maior precisão nas análises, como também uma atualização periódica desses dados (AMARAL e RIOS, 2012). Esta atualização é de extrema importância dado que a utilização do espaço é dinâmica e promove modificações ora gradual, ora acelerada da paisagem, em determinada amostra espacial.

Neste sentido, Bertrand (2004) apresenta o conceito de paisagem como “o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável em perpétua evolução” (BERTRAND, 2004, p.141). Deste modo, para compreender a paisagem é necessário entender o processo interativo dos fatores

intervenientes, onde a ação antrópica potencializa o processo de construção e de desconstrução da paisagem.

Em virtude disto, as técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto integram atualmente um conjunto de ferramentas aplicáveis para obtenção de dados base para o planejamento, mapeamento e gerenciamento de áreas em diversos níveis de abrangência e âmbitos de gestão.

No tocante à questão ambiental, a aplicabilidade eficiente dessas técnicas, integrada às informações produzidas pelas imagens de satélite, em especial as de alta resolução, podem produzir diagnósticos, auxiliar no planejamento e fortalecer as ações ambientais de monitoramento (REIS *et al*, 2014), apresentando-se como subsídio para instrumentos jurídicos de controle e fiscalização destas áreas. Possibilita ainda realizar o levantamento, catalogar e mapeamento recursos naturais.

No que concerne à tomada de decisão, e elaboração de estratégias de gestão, a exemplo do espaço urbano, o uso de geotecnologias geram uma gama de informações necessárias, tais como: o uso do solo e a influência do relevo, do clima e da hidrografia nas características físicas e ocupacionais de uma dada região.

Neste contexto, conforme Ribeiro e Mendes (2017), o uso de informações atualizadas e detalhadas sobre o uso e cobertura do solo urbano é estratégico para o planejamento e gestão urbana, envolvendo questões relacionadas à expansão e ao adensamento urbano, planejamento territorial, elaboração de projetos setoriais de uso do solo e nos zoneamentos em geral às mudanças climáticas e à necessidade de proteção ambiental. Rosa (2009) corrobora dizendo que “O levantamento do uso e ocupação do solo de uma região tornou-se um aspecto de interesse fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço” (ROSA, 2009 *apud* NETO *et al*, 2015)

Resgatando a importância da visão sistêmica comentada nos tópicos anteriores, e do emprego da bacia hidrográfica como unidade base de análise e planejamento, Amaral e Rios (2012) ressaltam importância da compreensão da dinâmica de ocupação do solo e de sua interferência nos processos naturais para o estabelecimento de ações de planejamento sócio-ambientais para a bacia hidrográfica.

3.4.3 Técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas recobrimento e uso do solo

De acordo com Ribeiro *et al* (2009), o sensoriamento remoto orbital é uma ferramenta muito eficaz no reconhecimento do recobrimento e uso do solo, principalmente com a disponibilidade das imagens de alta-resolução espacial. Ademais, dada a importância que a

cobertura vegetal nativa representa na bacia hidrográfica, a continuidade de aquisição de dados oferecida assegura o acompanhamento das alterações na fisionomia da vegetação, através de seu comportamento espectral.

Em relação ao mapeamento de uso e ocupação do solo, há dois métodos principais: classificação de imagens supervisionada e índices de vegetação (VIs).

A classificação de imagens é conceituada pela DPI/INPE (2006) como “o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos”. São utilizados em Sensoriamento Remoto com a finalidade de mapear áreas da superfície terrestre que correspondem aos temas de interesse. Neste método são atribuídos significados aos pixels em função das características numéricas que estes possuem (ROSA, 2009 *apud* Neto *et al*, 2015).

Após a segmentação da imagem, que resultará em regiões de pixels semelhantes, ou seja, no reconhecimento de padrões na imagem, na classificação supervisionada, as frações são associadas a classes. Estas podem ser: corpos hídricos, vegetação rasteira ou densa, culturas, solo exposto, solo impermeabilizado, entre outros, de acordo com o propósito da análise. Nas palavras de Rosa (2009),

A classificação supervisionada consiste na identificação das classes de informação (tipos de cobertura do solo) presentes na imagem e posteriormente é desenvolvida uma caracterização estatística das refletâncias para cada classe de informação. Nesse tipo de classificação o analista identifica os tipos específicos de cobertura do solo já conhecidos da área de estudo, ou seja, é necessário que se tenha conhecimento sobre as classes na imagem (ROSA, 2009 *apud* Neto *et al*, 2015)

Os índices de vegetação (VIs) são modelos matemáticos desenvolvidos para avaliar a cobertura vegetal relacionando a assinatura espectral da vegetação e os parâmetros mensuráveis tanto quantitativamente quanto qualitativamente (MARCUSI *et al*, 2010). Para esta finalidade, utiliza-se normalmente, as faixas do vermelho e do infravermelho próximo.

Estes modelos matemáticos vêm sendo desenvolvidos e melhorados desde a década de 60. Como relatado por Tucker (1979), a utilização de uma das derivações dos VIs, o RVI (*Ratio Vegetation Index*), foi reportada pela primeira vez por Jordan (1969), tornando-se largamente difundido posteriormente.

Desde então, o monitoramento operacional da cobertura vegetal é realizado empregando-se os VIs, que têm se mostrado como uma medida radiométrica precisa dos padrões espaciais e temporais da atividade fotossintética da vegetação (HEUTE *et al*, 1997). O índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI), que é a diferença entre as bandas do

infravermelho próximo (NIR) e vermelho dividido pela sua soma, é apontado na literatura como mais amplamente utilizado nos estudos de vegetação global.

O NDVI permite através da amplitude do resultado identificar a presença de vegetação e inferir sobre a biomassa verde, teor de clorofila na vegetação e ainda vigor e crescimento da vegetação verde. Este permite ainda distinguir bem o alvo vegetação dos demais, em áreas urbanas (RIBEIRO *et al*, 2009). Quando medido a partir da série de sensores de alta resolução, tem sido utilizado em estudos fenológicos da estação de vegetação, classificação da cobertura da terra e modelos climáticos globais (HEUTE *et al*, 1997).

Outro índice proposto na literatura é o Índice de Vegetação Atmosfericamente Resistente (ARVI) (RIBEIRO *et al*, 2009). Visto que o vapor de água tem grande influência sobre o cálculo do NDVI, uma das formas de minimização deste efeito é a correção atmosférica indireta através deste novo índice. No índice ARVI o canal vermelho do índice NDVI é substituído por uma combinação entre os canais vermelho e azul.

Esta modificação minora os efeitos dos aerossóis sobre os resultados. Vele mencionar que, de acordo com Ribeiro *et al* (2009), como a resposta espectral da cobertura vegetal sofre variações em função de alterações sazonais, é possível utilizar os índices supracitados para inferir sobre o estado de conservação da vegetação intra-urbana.

3.5 Projeto Montes Verdes

O projeto Montes Verdes, premiado no Prêmio Inovar BH de 2016 como segundo colocado na categoria de “Ideias inovadoras implementáveis”, na área temática “Avaliação, Implementação e Monitoramento de Políticas Públicas” consiste em identificar, catalogar, caracterizar e propor planos de revegetação de áreas degradadas/antropizadas em Belo Horizonte. Fruto de uma iniciativa voluntária dos servidores da SMMA João Vicente de Figueiredo Mariano, Júlio César De Marco, Wanderson Marinho de Abreu e Marcelo Vichiato, o projeto está sendo desenvolvido com recursos humanos da SMMA e com compensações ambientais provenientes dos processos de licenciamento ambiental. Conta ainda com algumas parcerias para desenvolvimento de mudas.

Segundo Wanderson Marinho, gerente da Gerência de Licenciamento Ambiental de Indústrias e coordenador do projeto Montes Verdes, a ideia surgiu, ao participar do licenciamento de uma indústria localizada na Serra do Engenho Nogueira, Regional Pampulha, que possui áreas com vegetação nativa, mas também várias áreas antropizadas. O projeto não evoluiu na época, sendo retomado cinco anos depois, em 2016, com viés multidisciplinar contando com a participação de engenheiros civis, ambientais, químicos,

agrônomos, geólogos, assistentes administrativos, estagiários além de geógrafos e biólogos envolvendo vários órgãos da PBH (SMMA , Regionais e outros).

Embora a ideia tenha surgido na Serra do Engenho Nogueira, as primeiras intervenções e replantio foram realizados no Parque Fernando Sabino em razão da área ser cercada e monitorada pela Associação dos Moradores do Condomínio Fazenda da Serra, parceira da PBH no projeto.

Em 2017 a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa), efetuou a doação de 5 mil mudas dos biomas Cerrado e Mata Atlântica plantadas com sucesso na época (Figura 12). No entanto, algumas mudas morreram durante o ano por falta de irrigação. Os estudos realizados na área identificou a necessidade de novos plantios inclusive para mitigar a erosão do solo em algumas áreas do parque.

Estima-se ainda que 6.000 mil mudas fazem-se necessárias para a revegetação da Serra do Engenho Nogueira. A alta demanda por mudas de qualidade levou a uma terceira parceria, firmada entre SMMA-PBH e a gerência da Floresta Nacional (FloNa) de Passa Quatro (ICM-Bio - Instituto Chico Mendes). Ficou acordado um trabalho conjunto para a produção inicial de aproximadamente 4000 mudas de 26 espécies nativas de Mata Atlântica e Cerrado pelo viveiro florestal da FloNa. A SMMA de BH fornece os insumos, as embalagens e uma parte das sementes para a produção das mudas e a FloNa fornece a mão-de-obra. Como contrapartida uma parte das mudas produzidas fica na unidade para fins de comercialização pelo ICMBio.

Figura 12 Área revegetada no parque Fernando Sabino



Autor da foto: Wanderson Marinho

Tendo em vista os conceitos de infraestrutura verde abordados anteriormente, este projeto promove a incorporação destes princípios no âmbito das políticas públicas e, mesmo em escala piloto, está embasado em uma visão sistêmica dos espaços verdes existentes na cidade. Cabe ressaltar que as funções da infraestrutura verde terão maior eficácia se/quando houver interconexão destes espaços. Para Benedict e McMahon (2002) “*elements of a green infrastructure network need to be protected over the long term. This requires long-range planning and management, as well as an ongoing commitment*”³. Por esta razão, o projeto prevê não apenas a recuperação das áreas degradadas, como também: a manutenção, por meio obras de retardo de vazão escoada e irrigação (em período de estiagem); plano de combate a incêndio e educação ambiental dos moradores do entorno.

3 “elementos de uma rede de infraestrutura verde precisam ser protegidos a longo prazo. Isso requer planejamento e gerenciamento de longo prazo, bem como um compromisso contínuo” (BENEDICT e MCMAHON, 2002)

4.MATERIAL E MÉTODOS

A escolha metodológica se deu a partir do objetivo desta pesquisa, visando uma abordagem quantitativa do tema proposto, tendo como delineamento metodológico o estudo de caso.

4.1 Descrição da área de estudo

O estudo de caso ocorreu no Parque Fernando Sabino e na Serra do Engenho Nogueira, áreas escolhidas para execução em escala piloto do projeto Montes Verdes. Na Figura 13 é possível perceber a proximidades das duas áreas de estudos, e a possibilidade de interligá-las a outras áreas verdes da região. Esta região é classificada pelo IDE-SISEMA como remanescente do bioma Mata Atlântica, mas também área de transição de Cerrado. Portanto, a preservação e revegetação destas áreas com espécies típicas dos biomas em questão é de suma importância.

Figura 13 Áreas de estudo.



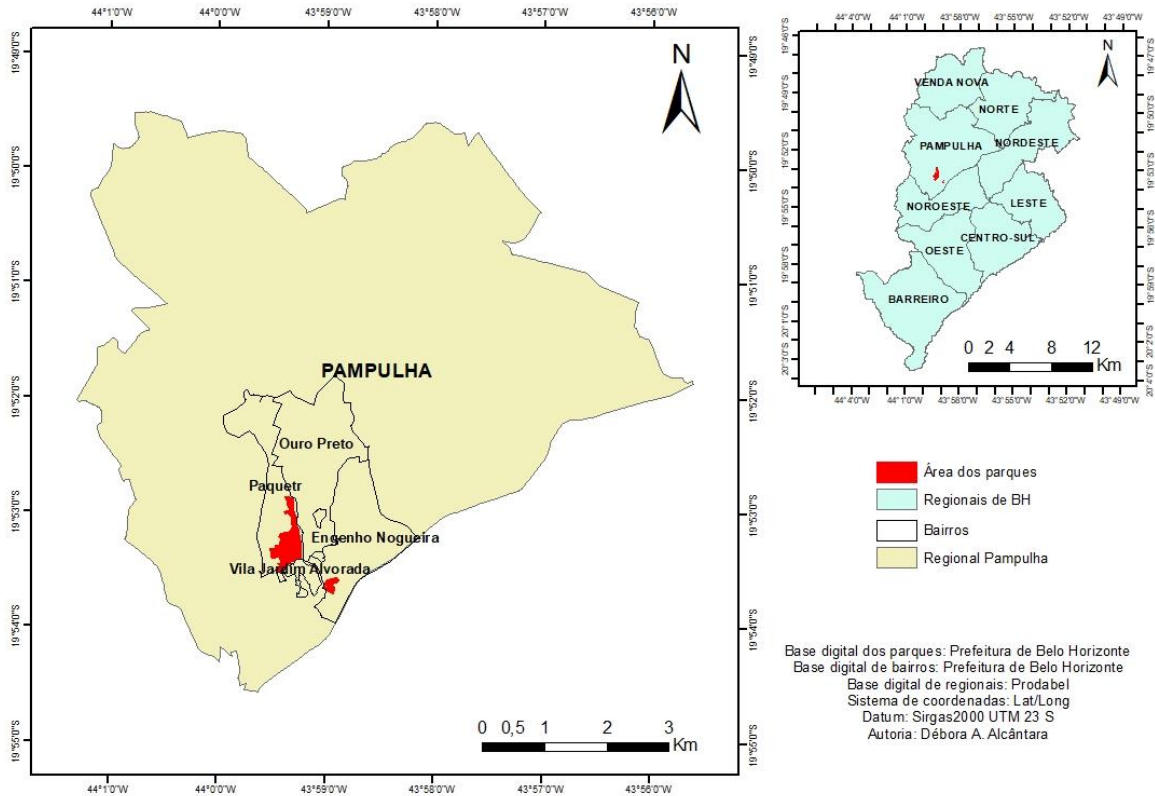
Fonte: Google Earth, agosto de 2017.

Os parques Fernando Sabino e Engenho Nogueira estão localizados na regional Pampulha, nos bairros Paquetá e Engenho Nogueira, respectivamente (Mapa 2).

O Parque Fernando Sabino recebeu os primeiros investimentos do projeto. Este já possui áreas de plantio de mudas, realizado nos anos últimos três anos, e um Plano de

Recuperação Integral e Manutenção de Área Degradada (PREMAD), desenvolvido pela GELAI ao final de 2017.

Mapa 2 Localização das áreas de estudo



Possui área de 0,2885 km² e está inserido na sub-bacia do Córrego Ressaca. Está delimitado a sudoeste, oeste e noroeste pelo Condomínio Fazenda da Serra (PREMAD, 2017) sendo o acesso ao parque realizado por meio deste.

Foram catalogadas seis nascentes dentro do parque. O condomínio Fazenda da Serra faz o controle do acesso e o monitoramento do parque, e embora a face leste seja completamente murada, há registros frequentes de invasões, descarte ilegal de resíduos e incêndio criminoso. Em decorrência destes problemas, fazem-se necessários a conscientização ambiental das comunidades do entorno e o monitoramento das áreas já revegetadas.

A Serra do Engenho Nogueira, por sua vez, é classificada como área verde pela PBH, e foi cercado em fevereiro de 2018 para dar início aos estudos e projetos de recuperação. Possui área de 0,0415 km² e está inserido na sub-bacia do Córrego Engenho Nogueira. Neste local também há descarte inadequado de resíduos sólidos, além de incêndios criminosos. Em outubro de 2018 foram realizadas a abertura de covas e plantio de mudas por meio de acordos de compensação ambiental.

4.2 Levantamento de dados

Os limites de sub-bacias e micro-bacias, as curvas do nível e os limites das áreas de estudos foram obtidos na Prefeitura de Belo Horizonte. As imagens do satélite Rapideye, com resolução espacial de 5 metros, foram disponibilizadas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Utilizou-se o *software* Arcgis versão 10.5 para o processamento digital e concepção de *layouts* dos mapas resultantes deste estudo. Foi utilizada a cena 2329919 do Rapideye, anos 2011 a 2014, as únicas disponíveis no portal. As imagens de 2011 e 2014 são dos meses de setembro, a imagem de 2012 é de novembro e a de 2013 é do mês de julho.

As imagens do Satélite Rapideye possuem 5 bandas espectrais, são elas: azul, verde, vermelho, red-edge e infravermelho próximo. Para visualização da ocupação do entorno das áreas de interesse, utilizou-se a composição de cor natural R3G2B1, e para o cálculo do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI), foram utilizadas as bandas R3e NIR5.

Para determinação da cobertura do solo dentro dos parques aplicou-se o modelo matemático do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) (equação 3) e classificação supervisionada, utilizando a composição de falsa cor NIR5RED4R3.

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \quad (3)$$

Onde NIR = faixa espectral do infravermelho próximo

R = faixa espectral do vermelho

Aplicou-se o NDVI apenas para comparação visual do vigor vegetativo nas áreas de estudo do ano de 2011 a 2014. De acordo com Júnior e Silva (2014), a banda 4 do satélite Rapideye (Red-Edge) localiza-se na região do espectro eletromagnético entre 690 a 730 nm, que permite perceber uma mudança abrupta na refletância da clorofila, sendo, por isso, a mais indicada para a análise de biomassa, diferentemente de outros satélites.

4.3 Determinação do Coeficiente de Escoamento Superficial

Para o cálculo das vazões de pico das áreas de interesse foram aplicadas duas metodologias distintas: o método Racional e o *Soil Conservation Service* (SCS) a fim de comparar qual metodologia se mostra mais eficaz para o projeto.

4.3.1 Método Racional

O método Racional é indicado para áreas até 2 km², expresso pela equação 4:

$$Qp = 0,278 \times C \times im \times A \quad (4)$$

Onde Qp é a vazão em m^3/s ;

im - A intensidade da chuva crítica (mm/h);

A - Área de drenagem considerada (Km^2)

C - Coeficiente de escoamento;

A determinação do coeficiente de escoamento foi feita através da ponderação dos usos do solo com base na tabela 5. A escolha das parcelas se deu em função das observações em campo e pela imagem RapidEye 2014.

Tabela 5 Coeficiente superficial C - Método Racional

Uso do Solo	Período de retorno (anos)
2 a 10	
Áreas residenciais	
Gramados planos	0.10 - 0.25
Gramados íngremes	0.25 - 0.40
Playground/Praças	0.40 - 0.50
Áreas rurais	
Matas e parques	0.05 - 0,20
Solo exposto	0.20 - 0.30
Terrenos montanhosos	0.60 - 0.80

Fonte: **Drainage Design Manual of Maricopa, Arizona apud Tucci, 2012. Adaptada**

Os cálculos foram realizados considerando período de retorno de 2 e 10 anos, visto que estes são os indicados para pequenas obras de drenagem urbana.

Para o cálculo da Chuva Crítica foi utilizada a equação IDF proposta por Pinheiro e Naghettini (1998) desenvolvida com base nos parâmetros da Região Metropolitana de Belo Horizonte, expressa pela fórmula 5

$$i_{T,t,j} = 0,76542 t^{-0,7059} \times P_{anual}^{0,5360} \times \mu_{T,t} \quad (5)$$

Onde: $i_{T,t,j}$ = Intensidade da chuva (mm/h ou mm/min);

t = Duração da chuva (h ou min);

j = Local da chuva;

T = Período de retorno (anos);

P_{anual} = Precipitação anual (mm);

$\mu_{T,t}$ = Quantis adimensionais de frequência.

Os quantis adimensionais correspondentes a probabilidades anuais de frequência para diversas durações de precipitação e tempos de retorno são obtidos através da tabela 6.

Tabela 6 Quantis adimensionais $\mu T, d$

Quantis - $\mu T, t$							
Duração (h)	Tempo de Retorno (Anos)						
	1,05	1,25	2	10	20	50	100
0,167	0,691	0,828	1,013	1,428	1,586	1,791	1,945
0,25	0,695	0,83	1,013	1,422	1,578	1,78	1,932
0,5	0,707	0,836	1,013	1,406	1,557	1,751	1,897
0,75	0,69	0,827	1,013	1,43	1,589	1,795	1,949
1	0,679	0,821	1,014	1,445	1,61	1,823	1,983
2	0,683	0,823	1,014	1,439	1,602	1,813	1,97
3	0,679	0,821	1,014	1,445	1,61	1,823	1,983
4	0,688	0,826	1,013	1,432	1,591	1,798	1,953
8	0,674	0,818	1,014	1,451	1,618	1,834	1,996
14	0,636	0,797	1,016	1,503	1,69	1,931	2,112
24	0,603	0,779	1,017	1,55	1,754	2,017	2,215

Fonte: Pinheiro e Naguettini, 1998.

Para o cálculo da chuva crítica adotou-se a precipitação média anual de 1500 mm, conforme recomendado pelo Manual de Instrução Técnica para Elaboração de Projetos de Drenagem Urbana do Município de Belo Horizonte (SUDECAP, 2004).

Para escolha do método de cálculo do tempo de concentração da bacia, foram avaliados os parâmetros área e declividade do terreno. De acordo com TUCCI (2012), Kirpich é recomendado para bacias pequenas ($\leq 2 \text{ km}^2$) e terrenos de altas declividades. Fórmula de Kirpich é expressa pela equação 6.

$$tc = 57x(L^3/H)^{0,385} \quad (6)$$

Onde: L= comprimento do curso (km)

H= diferença de cotas (m)

tc= tempo de concentração (min)

4.3.2 Método Soil Conservation Service (SCS)

O método *Soil Conservation Service* (SCS) foi desenvolvido nos Estados Unidos em bacias de áreas entre 55 e 0,005 km² avaliando mais de 3 mil solos (MOTA, 2012; TUCCI, 2012). Este é baseado no conceito de hidrograma unitário e é indicado para bacias de áreas que variam de 3km² a 250km² (TOMAZ, 2012), expresso pelas relações a seguir.

$$S_d = \frac{25400 - 254 CN}{CN} \quad (7)$$

Onde S_d é o armazenamento máximo;

CN número da curva (< 100) (quando o CN é igual a 100, o armazenamento é nulo).

O cálculo do tempo de concentração pelo método SCS é dado pela equação 8.

$$tc = 3,42x L^{0,8} x \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0,7} x (S_0)^{-0,5} \quad (8)$$

Onde tc é o tempo de concentração;

L – comprimento da bacia (m);

CN – número da curva;

S_0 – declividade (m/m).

Conforme Tomaz (2012), o valor da duração da chuva unitária é dado por:

$$D = 0,133tc \quad (9)$$

Este método considera ainda o tempo de ascensão, que é o tempo que vai do centro de massa do hietograma da chuva excedente até o pico do hidrograma. Segundo Ven Te Chow (1988) o *Soil Conservation Service* (SCS), após estudos em pequenas e grandes bacias, concluíram que o tempo de ascensão é definido aproximadamente pela equação 10:

$$ta = 0,6 x tc + \frac{D}{2} \quad (10)$$

O número da curva foi determinado para cada parque através da ponderação dos dados obtidos da classificação da imagem Rapideye, equação 11, onde foram consideradas frações de solo exposto, vegetação arbórea e vegetação rasteira.

$$CN = \frac{(CN_{sexp} \cdot A_{sexp} + CN_{varb} \cdot A_{varb} + CN_{vrast} \cdot A_{vrast})}{A_{total}} \quad (11)$$

Por fim, a vazão de pico é definida pelo método SCS como a equação 12.

$$Qp = \frac{2,08xA}{ta} \quad (12)$$

Onde Qp é a vazão em m^3/s ;

A - Área de drenagem considerada (km^2)

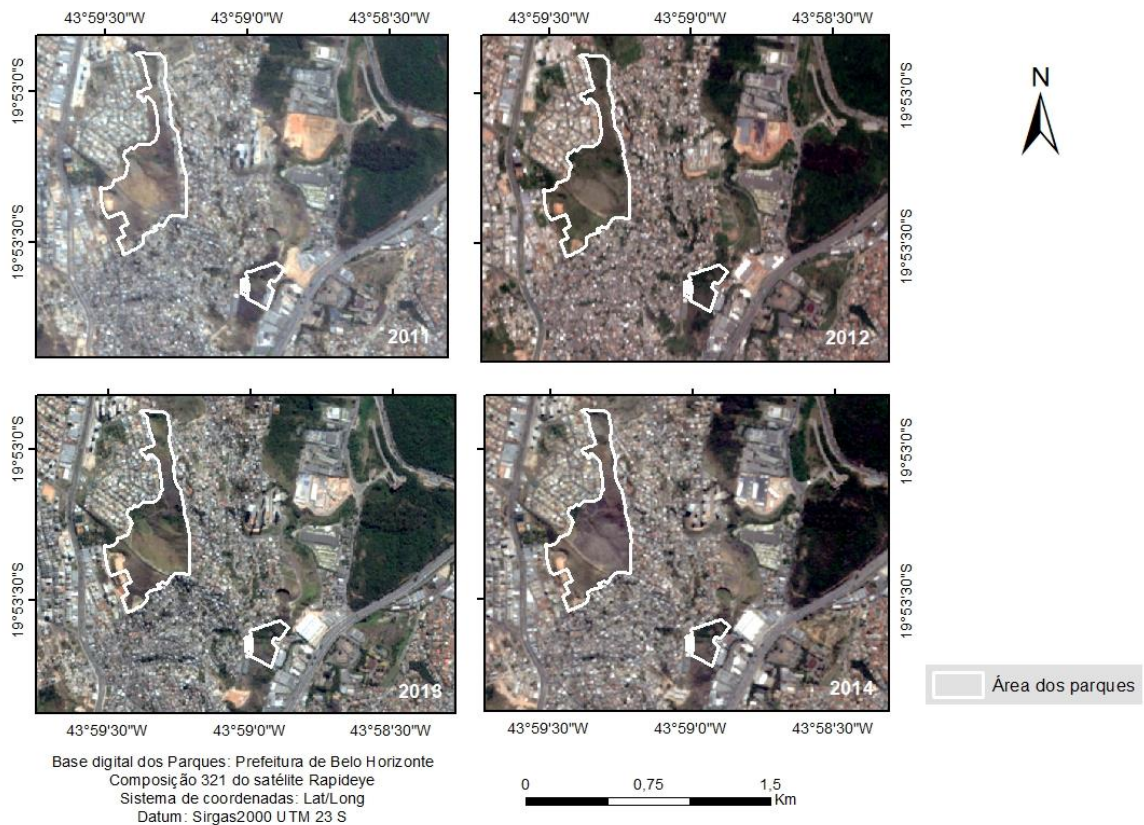
ta - tempo de ascensão (h);

5 RESULTADOS E DISCURSÕES

5.1 Aplicação das geotecnologias

A análise do entorno dos parques demonstrou urbanização intensa, mas, também, outras áreas verdes próximas, possibilitando um projeto futuro de interligação dessas áreas. Não houve alteração significativa na parcela urbanizada nos anos analisados, porém, a cobertura do solo dos parques sofreu variações perceptíveis (Mapa 3). As variações sazonais visíveis demonstram que a maior parcela da cobertura do solo nos parques é constituída por vegetação rasteira, o que foi confirmado pelo resultado da segmentação e classificação das imagens.

Mapa 3 Variação da área vegetada e urbanização do entorno



Em ambos os parques a parcela de vegetação rasteira foi a mais representativa, com valores superiores a 50% (Tabela 7). A fração solo exposto alcançou um valor de 37% no parque Fernando Sabino, consideravelmente maior que o encontrado na Serra do Engenho Nogueira, demonstrando, portanto, um maior grau de degradação. A segmentação corresponde a cena de 2014 do Raideye.

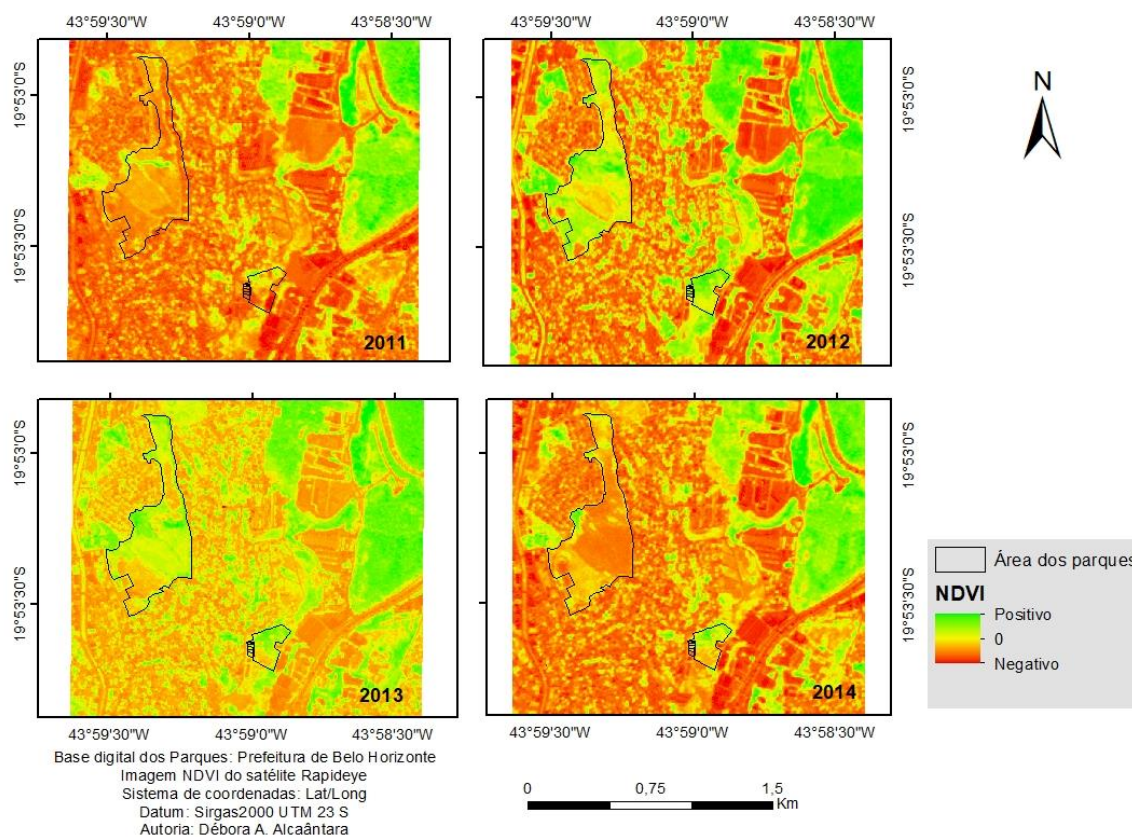
Tabela 7 Frações da cobertura do solo dos parques

Fernando Sabino	
Cobertura do solo	Porcentagem
Solo exposto	37%
Vegetação arbórea	7%
Vegetação rasteira	56%
Engenho Nogueira	
Solo exposto	12%
Vegetação arbórea	25%
Vegetação rasteira	62%

Fonte: Autoria própria

A variação do índice de diferença normalizada apresentou variação entre -0,3 e 0,7. Os valores normalizados de NDVI variam no intervalo de -1 a 1. De acordo com Mallmann *et al* (2015), a amplitude de 0,2 a 0,5 representa condições de baixa biomassa e os valores superiores à 0,5 representam uma vegetação estável com idade média de 15 a 35 anos. Valores negativos representam a ausência de biomassa vegetal na imagem.

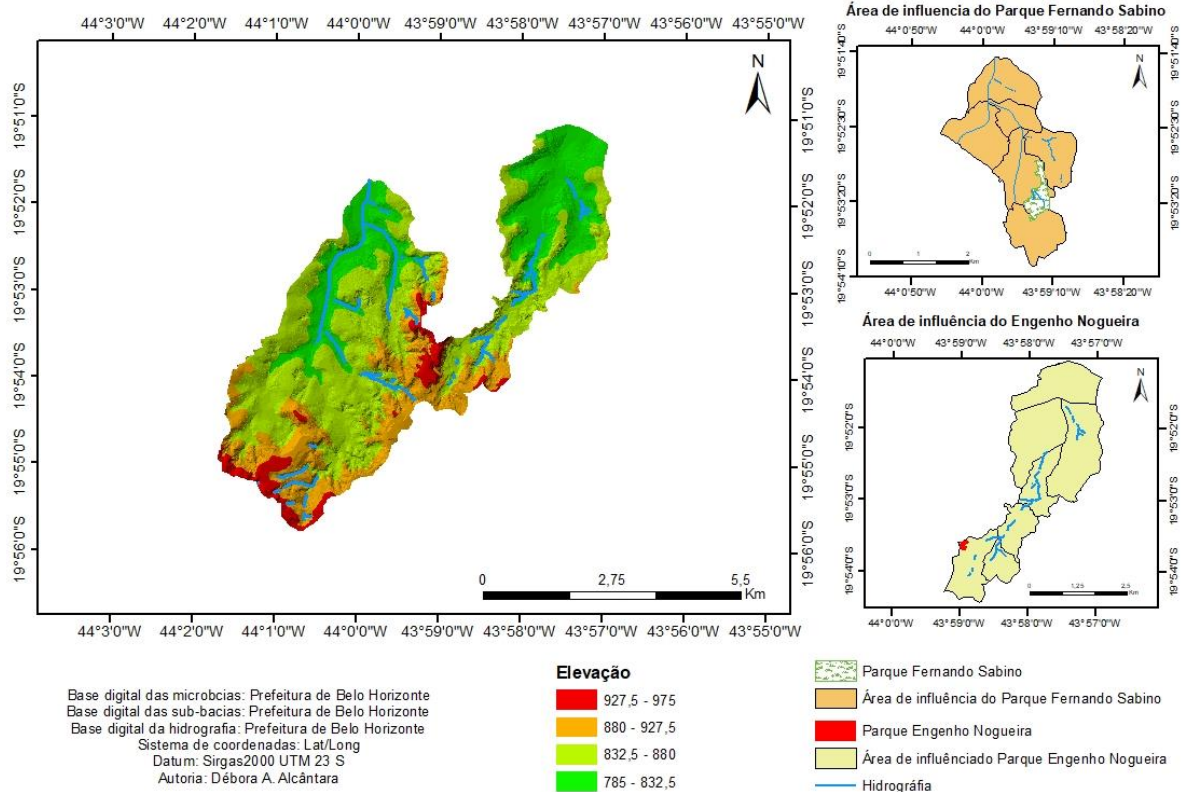
Mapa 4 Vigor vegetativo nos parques



Para fins da identificação da área de influência do escoamento superficial que perpassa os parques, foi gerado um modelo de elevação das sub-bacias do Córrego Ressaca e Engenho Nogueira (Mapa 5). Averiguou-se que ambos os parques estão localizados nas áreas mais altas de suas respectivas sub-bacias. Considerou-se área de influência toda a porção da bacia à jusante dos parques que receberiam o escoamento superficial proveniente dos parques.

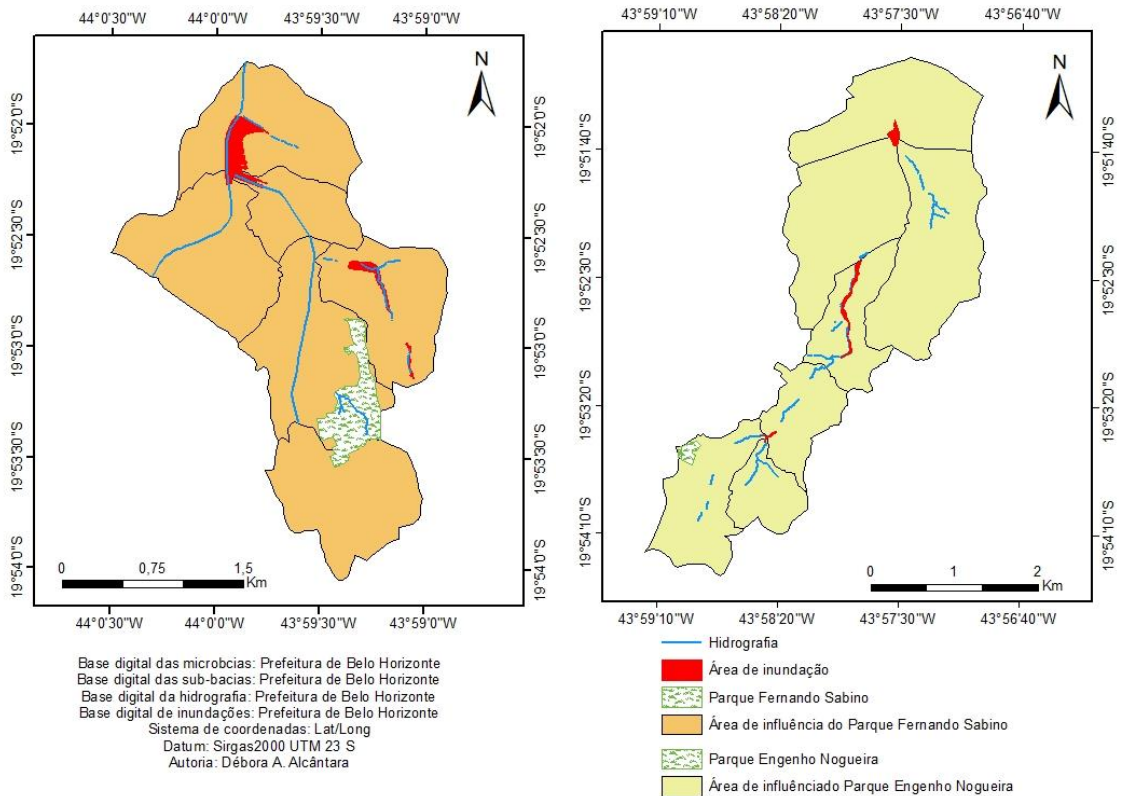
O parque Fernando Sabino possui declividade 21,17%, estando seu limite superior em 960 metros de altitude, o inferior 850 m. A área de influencia na rede de drenagem compreende apenas 6 micro-bacias do Córrego Ressaca (mapa 5). A área de influência de Engenho Nogueira, por sua vez, compreende toda sub-bacia, como mostra o mapa altimétrico 5. Ou seja, o escoamento superficial gerado na serra do Engenho Nogueira percorre toda a sub-bacia. Seu limite superior localiza-se a 975 metros de altitude e o inferior em 890 m, declividade acentuada de 40,9%, o que favorece o escoamento superficial rápido nesta área.

Mapa 5 Altimetria e área de influência das sub-bacias dos Córregos Ressaca e Engenho Nogueira



De acordo com Lucas *et al* (2015), todas as regiões administrativas de Belo Horizonte possuem pontos passíveis de alagamentos ou inundações. Os níveis altimétricos variam de 680 m a 1.480 m na cidade. Tais variações colaboram para potencializar as enchentes e inundações nas áreas mais aplainadas do relevo. As regiões de Venda Nova, Norte, Nordeste e Pampulha estão em cotas altimétricas inferiores a 975 m, caracterizando-as como as áreas mais aplainadas da cidade. De acordo com dados da PBH, as áreas de influência dos dois parques estão sujeitas a inundações.

Mapa 6 Regiões de inundação nas áreas de influência



Por fim foram obtidos, com auxílio do *software* Arc Gis 10.5, os dados necessários para aplicação dos modelos de cálculo de vazão de pico, tabela 8.

Tabela 8 Dimensões e altimetria dos parques

Parque	Área (km ²)	Comprimento do talvegue (km)	ΔH (m)	
Fernando Sabino	0,2885	0,543	965	115
			850	
Engenho Nogueira	0,0415	0,220	975	90
			885	

Fonte: Autoria própria

5.2 Vazão de pico

De acordo com os resultados obtidos na fase anterior, os parques estão na região mais elevadas de suas respectivas sub-bacias. Embora haja no Parque Fernando Sabino uma canaleta de estrutura de concreto que conduz o escoamento da Rua Aluísio Davis por meio do parque, esta vazão não é depositada dentro do parque e, por isso, considerou-se que ambos não recebem escoamento superficial de montante.

5.2.1 Método Racional

De acordo com o resultado da classificação supervisionada (Tabela 8), as áreas dos parques possuem frações de solo exposto, vegetação rasteira e vegetação arbórea. Porém, para o cálculo do coeficiente de escoamento deste método considerou-se também os aspectos declividade do terreno, os afloramentos rochosos e o solo pouco profundo que favorecem o escoamento rápido.

Deste modo, considerou-se no cálculo de C a relação das áreas fracionadas da tabela 7 com os usos do solo da tabela 5 da seguinte forma:

Parque Fernando Sabino – 32% solo exposto; 5% terrenos montanhosos (rocha exposta); 7% matas; 40% gramados íngremes e 16% gramados planos.

Engenho Nogueira -5% solo exposto; 7% terrenos montanhosos (rocha exposta); 25% matas; 50% gramados íngremes e 12% gramados planos.

O tempo de concentração encontrado foi de 4,53 minutos para o parque Fernando Sabino e 1,75 min para o Engenho Nogueira. Tendo em consideração que o tempo de duração da precipitação deve ser maior ou igual ao tempo de concentração da bacia, adotou-se tempo de duração de 10 minutos, devido a este ser o menor valor de duração para aplicação da metodologia de cálculo da chuva crítica para região metropolitana de Belo Horizonte, desenvolvida por Pinheiro e Naghettini (1998). Os resultados obtidos estão dispostos na tabela 9.

Tabela 9 Vazão de pico atual

Parque	Coefficiente de escoamento C	Período de retorno	Período de retorno	Tempo de duração (adotado)	Vazão de pico T=2 (m ³ /s)	Vazão de pico T=10 (m ³ /s)
Fernando Sabino	0,33	2 anos	10 anos	10 min	3,62	5,12
Engenho Nogueira	0,31	2 anos	10 anos	10 min	0,50	0,71

Fonte: Autoria própria

A fim de avaliar a eficiência da revegetação dos parques, foi simulada mesma situação alterando-se apenas os parâmetros do coeficiente de escoamento C do seguinte modo:

Parque Fernando Sabino – 5% terrenos montanhosos (rocha exposta); 70% matas; 10% gramados íngremes e 15% gramados planos.

Engenho Nogueira - 7% terrenos montanhosos (rocha exposta); 68% matas; 10% gramados íngremes e 15% gramados planos.

Foi considerado um máximo de 70% de vegetação arbórea devido às características dos terrenos. A vegetação arbórea em solo pouco profundo e em declividade acentuada como nos parques em questão podem provocar deslizamentos, agravando a situação de degradação das áreas de estudo.

Considerando apenas a mudança na cobertura do solo, obteve-se uma redução de 49,54% do volume escoado no parque Fernando Sabino e 42,99% na Serra do Engenho Nogueira (Tabela 10).

Tabela 10 Redução da vazão de pico pós revegetação.

Estimativas pós revegetação							
Parque	Coefficiente C	Período de retorno	Período de retorno	Tempo de duração (adotado)	Vazão de pico T=2 (m ³ /s)	Vazão de pico T=10 (m ³ /s)	%de redução
Fernando Sabino	0,165	2 anos	10 anos	10 min	1,83	2,58	49,54
Engenho Nogueira	0,179	2 anos	10 anos	10 min	0,28	0,40	42,99

Fonte: Autoria própria

A menor eficiência da revegetação na Serra do Engenho Nogueira em relação ao parque Fernando Sabino deve-se tanto a declividade acentuada quanto à maior proporção de rocha exposta na serra.

5.2.2 Método SCS

O solo do Parque Fernando Sabino foi classificado como tipo **C**, de acordo com a tabela 3, por ser um solo pouco profundo, com alguns afloramentos rochosos.

Para representação da porcentagem de solo exposto foi utilizado CN de “pastagens ou terrenos baldios em más condições”: CN = 86; para vegetação arbórea foi utilizado CN de “Bosque ou zonas florestais com cobertura boa”: CN =70; para vegetação rasteira foi utilizado CN de “Espaços abertos relvados, parques (...)”: CN = 74.

O solo da serra do Engenho Nogueira foi classificado como tipo **B**, de acordo com a Tabela 3 por ser um pouco mais profundo em algumas áreas, comparado ao anterior, embora tenha declividade mais acentuada e rocha exposta.

Para representação da porcentagem de solo exposto foi utilizado CN de “pastagens ou terrenos baldios em más condições”: CN = 79; para vegetação arbórea foi utilizado CN de “Bosque ou zonas florestais com cobertura boa”: CN =55; para vegetação rasteira foi utilizado CN de “Espaços abertos relvados, parques (...)”: CN = 61.

Tabela 11 Vazão de pico atual_SCS

Parque	CN	tc (min)	D (min)	ta (h)	Qp (m ³ /s)
Fernando Sabino	78,65	0,36	0,05	0,24	2,49
Engenho Nogueira	61,05	0,20	0,03	0,14	0,63

Fonte: Autoria própria

Para o momento pós revegetação, estimando uma cobertura arbórea para 75% de ambos os parques e extinguindo a fração de solo exposto, tem-se uma redução de 27,59% no parque Fernando Sabino e 26,40% na serra do Engenho Nogueira.

Tabela 12 Redução da vazão de pico pós revegetação_SCS

Cenário pós revegetação						
Parque	CN ponderado	tc (min)	D (min)	Ta (h)	Qp (m ³ /s)	% de redução de Q
Fernando Sabino	71,00	0,45	0,06	0,30	2,00	19,73
Engenho Nogueira	56,50	0,23	0,03	0,15	0,57	10,87

Fonte: Autoria própria

Uma vantagem da utilização do método SCS é a possibilidade de se obter vários cenários considerando os quatro grupos hidrológicos de solo relacionados neste método. Em função disto e em razão do projeto Montes Verdes ter sua aplicação estendida a toda capital, utilizando-se os parâmetros do parque Fernando Sabino, obteve-se o percentual de redução para os diferentes tipos de solo.

Tabela 13 Estimativa de redução de Qp para diferentes tipos de solo_SCS

Estimativa do Qp para diferentes tipos de solo			
	Tipo A	Tipo B	Tipo D
Solo Exposto	68	79	89
CN Veg. Arbórea	25	55	77
CN Veg. Rasteira	39	61	80
CN	48,75	67,24	83,12
Qp (m³/s)	1,13	2,32	2,87
Estimativa pós revegetação			
CN Veg. Arbórea	25	55	77
CN Veg. Rasteira	39	61	80
CN	28,5	56,5	77,75
Qp (m³/s)	0,64	1,37	2,43
% de redução	43,59	40,77	15,60

Fonte: Autoria própria

Em parques ou áreas verdes com características próximas às do parque Fernando Sabino, mas considerando tipos de solo diferentes, a redução da vazão de pico alcançada seria de até 43,59% (Tabela13), demonstrando, portanto o ganho significativo da revegetação nos diferentes cenários.

De acordo com Tucci (2012) a fórmula do método SCS para o cálculo do tempo de concentração parece superestimar este tempo para baixos valores de CN. Cunha *et al* (2015) constatou que este método tende a superestimar o volume escoado. Seus resultados demonstraram que o método não apresenta bom desempenho em locais distintos, o que está associado a sua formulação e parametrização.

Além disto, ambos os métodos são limitados quanto à representação do local de estudo no cálculo do coeficiente de escoamento. Enquanto o método Racional considera em parte a declividade do terreno quando divide área gramada em plana e acentuada, a abordagem é feita somente para a cobertura do solo. Já o método SCS, considera quatro grupos hidrológicos distintos de solo, diferentes tipos de uso e cobertura, mas não a declividade do terreno. Estes três parâmetros devem ser considerados em conjunto na avaliação do escoamento superficial.

6 CONCLUSÃO

A incorporação de infraestruturas verdes nos centros urbanos bem como a visão sistêmica e integradas destas áreas ainda disponíveis contribuem para a resiliência das cidades frente a eventos climáticos. O emprego das geotecnologias no planejamento da integração destas áreas, bem como no diagnóstico das mesmas, atribui agilidade e maior nível de detalhamento para tomada de decisão.

A utilização dos índices de vegetação possibilita não apenas o diagnóstico do estado de degradação das áreas, a fim de obter critérios para alocação dos recursos, bem como o monitoramento do desenvolvimento da vegetação nas áreas recuperadas.

Através dos resultados obtidos na avaliação do escoamento superficial, conclui-se que o Projeto Montes Verdes possui potencial significativo de redução do escoamento superficial em micro-bacias, o que de forma integrada irá refletir no escoamento total das sub-bacias de Belo Horizonte.

Embora ambos os métodos tenham demonstrado a eficácia da revegetação, recomenda-se a utilização do Método Racional para futuros diagnósticos e continuidade do projeto em áreas inferiores a 2 km² (TOMAZ, 2012). Para áreas superiores, todavia, recomenda-se o a utilização de métodos desenvolvidos recentemente, ou aplicação de aprimoramentos no método SCS para melhor acurácia nos resultados. Propõe-se, ainda, para continuidade do projeto, o ajuste dos parâmetros através do monitoramento no exutório de cada parque para calibrar o modelo hidrológico com base em dados de campo.

Os parques analisados neste estudo possuem capacidade de infiltração limitada não só pelo alto grau de degradação, mas também pela declividade acentuada. A redução do escoamento superficial pode ser otimizada nesses casos com a incorporação de medidas de controle, preferencialmente extensivas, nos parques e demais áreas integrantes do projeto.

7 REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, F.N.B. COSTA, J.S. Interceptação de chuva em diferentes fisionomias de caatinga (Coreaú, CE). **Geografia Ensino & Pesquisa**, vol. 16, n. 3, 2012. Disponível em <<https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/7580/pdf>> Acesso em 26 de Maio de 2018.
- AMARAL, A. B.; RIOS, A.S. Geoprocessamento: Mapeamento do uso e ocupação do solo no alto curso do Rio Piedade. **Revista de Geografia-PPGEO**, UFJF, nº. 1.2012.
- BELO HORIZONTE, Lei 7.166 de 27 de agosto de 1996. Estabelece Normas e Condições para Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo Urbano no Município. Câmara Municipal. Disponível em <<https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/7166/1996>> Acesso em: 2 Abril 2018.
- BELO HORIZONTE, Lei 8.137 de 20 de dezembro de 2000. Altera as Leis nºs 7.165 e 7.166 e dá outras providências. **Câmara Municipal**. Disponível em <<https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/8137/2000>> Acesso em: 2 Abril 2018
- BENEDICT, M.A.; MCMAHON, E.T. **Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century**. Washington, D.C.: Sprawl Watch Clearinghouse, 2002b.
- BENINI, S.M. **Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana**: Estudo de caso da cidade de Tupã/SP. Tese (Doutorado) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente 2015.
- BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física global - Esboço Metodológico. **Revista online UFPR**, n. 8, p. 141-152, Editora UFPR, Curitiba, 2004. Disponível em <<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:GeSPHn2qHRYJ:https://revistas.ufpr.br/raega/article/download/3389/2718+&cd=1&hl=de&ct=clnk&gl=br>> Acesso em 31 de Maio de 2018.
- BILL, R. **Grundlagen der Geo-Informationssysteme (Band 1), Hardware, Software und Daten**. Wichmann Verlage, Heidelberg, 1999 apud KENAWY, A.K.A. Entwicklung eines Bewertungssystem für die Aschuaiaat-Gebiete mit Hilfe des Geographischen Informationssystem (GIS) am Beispiel des Stadtteils Manshiet Nasser in Kairo. Op.Cit. p 73.
- BOTELHO, Rosângela Garrido Machado. Solos Urbanos. In. GUERRA. Antônio José Teixeira (org.) Geomorfologia Urbana. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, pp. 71-115 *apud* BENINI, S.M. **Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana**: Estudo de caso da cidade de Tupã/SP, 2015.
- BRASIL. Lei n.º 11.445 de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis n.ºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio

de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 11 de jan. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 28 mai.2018.

BRASIL. Lei n.º 12.608 de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 11 de abr. de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm>. Acesso em: 29 maio. 2018.

CÂMARA,G., *et al.* SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & graphics**, 1996, p. 395-403.

CÂMARA MUNICIPAL. A voz da cidadania: Comissão especial deve acompanhar processo de enfrentamento de enchentes, 15 de março de 2017. Disponível em <<https://www.cmbh.mg.gov.br/comunica%C3%A7%C3%A3o/not%C3%ADcias/2017/03/comiss%C3%A3o-especial-deve-acompanhar-processo-de-enfrentamento-de>> Acesso em: 1 Abril, 2018.

CANHOLI, A. P.. **Drenagem urbana e controle de enchentes**, 2º Edição. Oficina de Textos, São Paulo, 2014, p.384.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS CNRH. Resolução n.º 32 de 15 de outubro de 2003. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 de dez. 2003. Disponível em: <<http://www.cnrh.gov.br/resolucoes/74-resolucao-n-32-de-15-de-outubro-de-2003/file>>. Acesso em: 27 mai. 2018.

CORMIER, N.S.; PELLEGRINO, P.R.M. Infraestrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. Rev. **Paisagem e Ambiente**, São Paulo, n.25, pp. 125-142, 2008. Disponível em <<http://www.espiral.fau.usp.br/arquivos-artigos/2008-Nate&Paulo.pdf>> Acesso em 29 de Maio de 2018.

CRUZ, M.A.S.; SOUZA, C.F.; TUCCI, C.E.M. Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais**, São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos–ABRH, 2007.

CUNHA *et al.*: Avaliação da acurácia dos métodos do SCS para cálculo da precipitação efetiva e hidrogramas de cheia. Revista Brasileira de Recursos Hidricos. Vol 20, nº 4 Porto Alegre, 2015.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, **What is a GIS: History of GIS**. Disponível em <<https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/history-of-gis>>. Acesso em: 27 Abril, 2018.

FELIPPE, M.F. *et al.* Evolução da Ocupação Urbana das Zonas Preferenciais de Recarga de Aquíferos de Belo Horizonte-Mg **Revista de Geografia-PPGEO-** v.2, nº1. p.1-9, 2011 Disponível em <www.ufjf.br/revistageografia> Acesso em 30 de Maio de 2018.

HERZOG, C.P. ROSA, L. Z.. Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e Resiliência para a Paisagem Urbana. **Revista LABVERDE**, São Paulo, v.1, n.1, 2010. p. 91-115.

HEUTE, A. *et al.* A Comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment** nº 59, 1997. p. 440-451.

JÚNIOR, E. A. M.; DA SILVA, J. S.V. Imagens de alta resolução (rapideye) para elaboração de mapas para planejamento e gerenciamento: estrada parque do Pantanal, MS. 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal Campo Grande, MS. Embrapa Informática Agropecuária/INPE. Anais. p.513 -522, 2014.

KENAWY , A.K.A. **Entwicklung eines Bewertungssystems für die Aschuaiat-Gebiete mit Hilfe des Geographischen Informationssystems (GIS) am Beispiel des Stadtteils Manshiet Nasser in Kairo**. Fachbereich Architektur, Stadtplanung und Landschaftsplanung der Universität Kassel, [Al- Azhar Universität (Kairo)], Kassel,2005.

LEITE, C.; AWAD, J.C.M.. **Cidades Sustentáveis Cidades Inteligentes: Desenvolvimento sustentável num planeta urbano**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2012, 264 p. *apud* BENINI, S.M. Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana: Estudo de caso da cidade de Tupã/SP. Op. Cit. p.135.

LUCAS, T. P. B.; AUGUSTO, P.; REIS, S.; ROCHA, S. C. Impactos Hidrométricos em Belo Horizonte. In: **Revista Brasileira de Climatologia**, a. 11, v. 16, jan/jul 2015. ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica). Disponível em: Acesso em: 17 novembro. 2018

MARCUSSI, A.B. Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica. **Revista (on line) Caminhos de Geografia**, Instituto de geografia UFU Programa de pós-graduação em geografia, Uberlândia v. 11, n. 35, 2010 p. 41 – 53. Disponível em

<<http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>> Acesso em 30 de Maio de 2018.

MATA-LIMA, H., et al. Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. **Revista Escola de Minas**, 60(3). 2007

MIGUEZ, M.; REZENDE, O.; VERÓI, A.. **Drenagem Urbana: Do Projeto Tradicional à Sustentabilidade**, Editora Elsevier, 1º Ed., Rio de Janeiro, 2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Catálogo de imagens de satélite Rapideye. Disponível em < <http://geocatalogo.mma.gov.br/>> Acesso em outubro de 2018.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A.. **Hidrologia estatística**. CPRM, 2007.

NETO, A.M.F. *et al.*. Delimitação e quantificação da vegetação natural nas imediações do rio Paranaíba no município de São Simão-GO. XI Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 11, n. 5, 2015, pp. 156-164.

O TEMPO. **Solução para as enchentes em BH não se limita a obras**, 5 de Março de 2018. Disponível em <<https://www.otempo.com.br/cidades/solu%C3%A7%C3%A3o-para-as-enchentes-em-bh-n%C3%A3o-se-limita-a-obras-1.1580425>> Acesso em: 1 Abril, 2018.

PINHEIRO, M. M. G.; NAGHETTINI, M. Análise Regional de Frequência e Distribuição Temporal das Precipitações Intensas na Região Metropolitana de Belo Horizonte. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 4, p. 73-88, 1998.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE, MG. **Plano de Recuperação Integral e Manutenção de Área Degradada: Projeto Montes Verdes**, 2017.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE, MG. **Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem Urbana do Município de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Plano Diretor de Drenagem Urbana: Manual de Drenagem Urbana**, 2005.

RAMOS, D.V. *et al.* Estratégias para a promoção da drenagem urbana sustentável nas cidades contemporâneas . XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, **Anais**. Florianópolis, Santa Catarina, 2017.

REIS P.E. *et al.* O escoamento superficial como condicionante de inundações em Belo Horizonte, Mg: Estudo de caso da Sub-Bacia Córrego do Leitão, bacia do Ribeirão Arrudas. São Paulo, UNESP, **Revista Geociências**, v. 31, n. 1, p. 31-46, 2012

RIBEIRO, B.M.G.; *et al.* Avaliação da influência do efeito atmosférico na identificação do estado de conservação da cobertura vegetal intra-urbana em imagens de alta resolução espacial. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, 2009. **Anais**. INPE, p.827-834. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2008/11.12.18.47/doc/827-834.pdf>> Acesso em 4 Abril 2018 .

RIBEIRO, B.M.G.; MENDES, C.A.B. Novas tecnologias em Sensoriamento Remoto para subsídio a análises ambientais – Estudo de caso: Bacia Mãe D'água, Viamão, Rs. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, **Anais**. Florianópolis, Santa Catarina, 2017.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 7. ed. Uberlândia: EDUFU, 2009 *apud* NETO, A.M.F. *et al.*. Delimitação e quantificação da vegetação natural nas imediações do rio Paranaíba no município de São Simão-GO..

SARI *et al.*: Intercepção da chuva em diferentes formações florestais na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Versão On-line ISSN 2318-0331. Vol. 21 n.º.1 Porto Alegre, 2016 p. 65 – 79. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbrh/v21n1/2318-0331-rbrh-21-1-65.pdf>> Acesso em 27 de Maio de 2018.

SOARES, V.L. *et al.* Geoprocessamento aplicado ao mapeamento das formas de uso e ocupação da terra no município de Itarema, Ceará. VI Congresso Ibero americano de estudos territoriales y ambientales, **Anais**. São Paulo, 2014. Disponível em <<http://6cieta.org/>> Acesso em 31 de Maio de 2018.

TUCCI, C.E.M.; COLLISCHONN, W.. **Drenagem urbana e controle de erosão**. VI Simpósio nacional de controle da erosão. **Anais**. Presidente Prudente, São Paulo, 1998, 6. Jg., p. 128-130.

TUCCI, C.E.M.. **Inundações Urbanas**, Editora UFRGS (ABRH), 1ª Edição, Porto Alegre, 2007, 393 p.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, p. 97-112, 2008.

TUCCI, C.E.M. *et al.* **Hidrologia: ciência e aplicação**, Editora UFRGS (ABRH), 4ª Edição, Porto Alegre, 2012, 943 p.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, **Earth Explorer**. Disponível em <<https://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em: 27 Abril, 2018.

VAZ, A.C.; HIPÓLITO, J.R.. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. Editora Universitária do Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2º Ed. 2013.

TAPSALL B.; MILENOV, P.; TAS, DEMIR, K. Analysis of Rapideye Imagery for Annual Landcover Mapping as an Aid to European Union (EU) Common Agricultural Policy. VII Symposium – 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, **IAPRS**, Vol. XXXVIII, Part 7B, 2010.

TUCKER, C. J. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. **Remote Sensing of Environment**, North Holland: v. 8, p. 127-150, 1979.