

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

**FACULDADE DE ENGENHARIA  
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**NATALIA SILVA RAMOS**

**ANÁLISE TEÓRICA E COMPARATIVA ENTRE O MÉTODO TRADICIONAL E UM  
MÉTODO INOVADOR DE RECUPERAÇÃO DE NASCENTES**

**Ilha Solteira**

**2021**

**NATALIA SILVA RAMOS**

**ANÁLISE TEÓRICA E COMPARATIVA ENTRE O MÉTODO TRADICIONAL E UM  
MÉTODO INOVADOR DE RECUPERAÇÃO DE NASCENTES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira -  
Unesp como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Engenheira Civil.

Artur Pantoja Marques  
**Orientador**

Hélio Ricardo Silva  
**Coorientador**

FICHA CATALOGRÁFICA  
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e  
Documentação

R175a Ramos, Natalia Silva.  
Análise teórica e comparativa entre o método tradicional e um  
método inovador de recuperação de nascentes / Natalia Silva Ramos.  
-- Ilha Solteira: [s.n.], 2021  
62 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) -  
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira,  
2021

Orientador: Artur Pantoja  
Marques  
Coorientador: Hélio  
Ricardo Silva Inclui bibliografia

1. Nascentes hídricas. 2. Recuperação de nascentes. 3. Áreas  
degradadas.

Natalia Silva Ramos

**ANÁLISE TEÓRICA E COMPARATIVA ENTRE O MÉTODO TRADICIONAL E  
UM MÉTODO INOVADOR DE RECUPERAÇÃO DE NASCENTES**

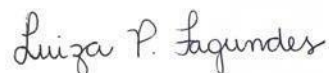
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus de Ilha Solteira.

**Aprovada em 22/09/2021**

Comissão Examinadora

  
Prof. Dr. Artur Pantoja Marques

UNESP/FE - Ilha Solteira (Orientador)



Me. Luiza Perroni Fagundes

Doutoranda – UNESP/FE - Ilha Solteira



Me. Cristhy Willy da Silva Romero

Doutorando – UNICAMP/FEAGRI - Campinas

Ilha Solteira  
22 de setembro de 2021

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho a ONG Engenheiros Sem Fronteiras - Núcleo Ilha Solteira. Pois foi através de trabalhos desenvolvidos da ONG em conjunto com o professor Hélio Ricardo, presente coorientador desse estudo, que se tomou nota do presente tema desenvolvido nesse trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, por toda a dedicação, exemplo e suporte todos esses anos que me trouxeram até aqui e tornaram possível a realização de tantos sonhos.

Ao meu orientador professor Pantoja e ao meu coorientador professor Hélio Ricardo, por desenvolverem trabalhos tão importantes para o mundo e engajarem seus alunos. Obrigada por me apresentarem a um tema tão necessário e me proporcionarem todo o suporte necessário para desenvolvê-lo.

Aos meus amigos Kawanna, Glenda e Rogê Fernando pela ajuda em todas as visitas em campo e todo o suporte para que fosse possível chegar até aqui.

E por fim, ao senhor José dos Santos Moraes pela confiança, suporte e todos os ensinamentos sobre o método que desenvolveu por tanto tempo.

“Ninguém acende uma lâmpada e a põe em lugar oculto ou debaixo da amassadeira, mas sobre um candeeiro, para alumiar os que entram.”

Lucas 11,33

## RESUMO

As expansões desordenadas do meio urbano e da agricultura trazem uma forte pressão sobre os recursos naturais existentes e, sobretudo sobre os solos e a água, levantando uma preocupação muito grande com a qualidade e disponibilidade desses recursos. No entanto, da mesma forma que as expansões urbanas e agrícolas são questões ainda em desenvolvimento, e por isso, há a necessidade de novos estudos sobre seus impactos e suas possíveis soluções.

Tendo em vista essa problemática, e principalmente o foco em recuperação da qualidade e disponibilidade desses recursos naturais, o presente estudo teve como objetivo principal a apresentação de uma análise teórica de um método inovador de recuperação de nascentes desenvolvido por José dos Santos de Moraes, nomeado como RNM. Há também, a comparação junto aos métodos convencionais já estabelecidos por normas e propostos pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente de São Paulo.

Palavras - Chaves: nascente hídrica; recuperação de nascentes hídricas; recuperação de áreas degradadas.

## **ABSTRACT**

The disorderly expansions of the urban environment and agriculture bring strong pressure on existing natural resources and, above all, on soils and water, raising a great deal of concern with the quality and availability of these resources. However, just as urban and agricultural expansions are still developing issues, and therefore, there is a need for further studies on their impacts and possible solutions.

In view of this issue, and mainly the focus on recovering the quality and availability of these natural resources, the present study had as its main objective the presentation of a theoretical analysis of an innovative method of spring recovery developed by José dos Santos de Moraes, named as an MRI. There is also a comparison with conventional methods already established by norms and proposed by the State Department of the Environment of São Paulo.

**Keywords:** headwater, recovery of headwater, recovery of degraded areas.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do Ciclo Hidrológico	15
Figura 2 - Velocidade de Infiltração do solo	16
Figura 3 - Espaços vazios do Solo	17
Figura 4 - Diferença entre infiltração e percolação	18
Figura 5 - A Nascente no Ciclo Hidrológico	19
Figura 6 - Compactação no campo	21
Figura 7 - Compactação do solo para a construção de uma rodovia	22
Figura 8 - Infiltração de um solo compactado e não compactado	23
Figura 9 - Permeabilidade do Solo em diferentes condições	24
Figura 10 - A força erosiva de escoamento superficial concentrado	25
Figura 11 - Curso d'água em condições normais	26
Figura 12 - Curso D'água assoreado	27
Figura 13 - Curso D'água Assoreado	28
Figura 14 - Representação do volume de controle de um canal unidimensional	29
Figura 15 - Equação da Continuidade	30
Figura 16 - Fluxo de água saindo de uma torneira	31
Figura 17 - Representação da Sucesso Ecológica	33
Figura 18 - Valores Intermediários de referência para Monitoramento das Florestas Ombrófilas e Estacionais, Restinga Florestal, Mata Ciliar em região de Cerrado	36
Figura 19 - Valores Intermediários de referência para Monitoramento de Cerradão e Cerrado stricto sensu	37
Figura 20 - Valores Intermediários de referência para Monitoramento de Manguezal, áreas com formações abertas e campestres no bioma Mata Atlântica (campos de altitude; restinga não-florestal) ou áreas com formações abertas no Bioma Cerrado (Campo Cerrado, Campo Sujo, Campo Limpo ou Campo Úmido).	37
Figura 21 - Legenda definida com os conceitos de Crítico, Mínimo e Adequada	38
Figura 22 - Indicadores necessários para atestar recomposição	39
Figura 23 - Representação de uma Nascente	43
Figura 24 - Representação de uma Nascente Assoreada	43
Figura 24 - Representação de Cerca na área mais vulnerável da nascente	44
Figura 25 - Representação de Curvas de Nível	46
Figura 26 - Corte e Limpeza da área	47
Figura 27 - Tubulação final alimentando uma represa	48

Figura 28 - Curso dentro da tubulação	49
Figura 29 - Obra Concluída Revestida por Pedras	49
Figura 30 - Perfil transversal de um rio	51
Figura 31- Canal D'água Assoreado	52

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVO	13
3	REVISÃO LITERÁRIA	14
3.1	CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE HIDROLOGIA	14
3.1.1	O Ciclo Hidrológico	14
3.2	O USO DO SOLO	20
3.2.1	O Solo em Meio Urbano	20
3.2.2	A Erosão do Solo	24
3.2.3	O Assoreamento em nascentes	26
3.3	CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE FÍSICA E HIDRÁULICA	28
3.3.1	Lei da Conservação das Massas	28
3.3.2	A equação da continuidade	29
3.4	RECOMPOSIÇÃO DE NASCENTES ESTIPULADA PELA NORMATIVA DA SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO	31
3.4.1	Introdução	31
3.4.2	Disposições gerais do método	32
3.4.3	As Etapas do Projeto de Restauração Ecológica	34
3.4.4	O diagnóstico da área objeto da restauração	34
3.4.5	A proposta de Projeto de Restauração Ecológica	34
3.4.6	Implantação, Manutenção e Monitoramento do Projeto	36
3.4.7	Conclusão do Projeto	38
4	MATERIAIS E MÉTODOS	40
4.1	INTRODUÇÃO DO MÉTODO RNM	40
4.2	ETAPAS DO RNM	40
4.3	METODOLOGIA RNM	41
4.3.1	A Recomposição Vegetal no Corpo da Nascente	41
4.3.2	A Recomposição Hidráulica da Nascente	42
4.3.3	As Curvas de Nível	45
4.3.4	A Manutenção do Projeto	46
4.4	DISPOSIÇÕES GERAIS DO MÉTODO RNM	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo a constituição federal brasileira, *“todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”* (BRASIL, 1988).

Desde o século XX, assuntos como mudanças climáticas, aquecimento global e esgotamento de recursos naturais vêm sendo discutido e ganhando cada vez mais visibilidade, um exemplo é a tão discutida Agenda de 2030 criada pela ONU (Organização das Nações Unidas), que desafia o mundo todo a atingir um modelo de desenvolvimento sustentável. Nessa agenda, ao todo, são 17 objetivos que colocam em pauta várias metas em diversos setores que vão desde a erradicação da fome até a preservação da água potável, da fauna e da flora, como exemplo o ODS (Objetivo de Desenvolvimento Sustentável) de número 6 é: *“assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos até 2030”* (AGENDA 2030, 2015).

No entanto, o aumento da visibilidade desses assuntos foi ocasionado por enfrentamentos de crises e grandes consequências causadas pelo uso desenfreado dos recursos naturais disponíveis no mundo, colocando em questionamento toda a cultura e o estilo de vida baseado no consumismo irracional de fontes naturais. No Brasil, por exemplo, do ano de 2014 ao ano de 2017, registrou-se uma das maiores crises hídricas do século (MARTÍN, M., 2014). E, durante o ano de 2021, o risco de uma nova crise hídrica voltou a tomar discussões, e pode vir a afetar até o agronegócio. (GERBELLI, L. G., 2021)

Durante a seca do ano de 2014, o volume do Sistema Cantareira, que abastece a capital do estado de São Paulo, registrou o menor volume de sua história. Além disso, vários municípios do estado de Minas Gerais e Espírito Santo e até de outras regiões como Centro - Oeste e Nordeste registraram estado de emergência. Segundo Tadeu (2016), as causas da crise hídrica foram variadas, partindo de uma seca prolongada, somada com poluição dos rios com a ocupação irregular dos mananciais, até a falha na gestão dos recursos hídricos, expondo claramente uma falta de planejamento das autoridades com relação a esse assunto.

Porém, assuntos como uma eficiente gestão hídrica ainda são temas que estão iniciando sua discussão recentemente, pois o tema de falta de água está sendo mais temido e, conseqüentemente, mais abordado na atualidade. Um exemplo disso, seria que no mesmo ano em que se iniciou a crise hídrica do estado de São Paulo, houve o lançamento do Programa Nascentes que consiste em estimular a revegetação de matas ciliares e recuperar nascentes por todo o estado (SÃO PAULO, 2014A).

O Programa Nascentes possui como estratégia principal, tentar aumentar a quantidade de água potável superficial disponível, “*por não penetrarem no solo e o acesso a elas ser mais fácil, são, atualmente, a principal fonte de abastecimento do planeta*” (FERREIRA, R., 2017).

Partindo-se da definição do Código Florestal vigente: “*nascente é afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d’água*” (BRASIL, 2012). Logo, são responsáveis por todo início de rios, córregos e lagos. Sendo assim, atuar na recuperação de nascentes é imprescindível para a recuperação também dos canais de água superficiais. E conseqüentemente, se a nascente se encontra em processo de assoreamento, a tendência é que aquele ponto pare de aflorar água e assim, o rio, córrego ou lago perde seu abastecimento, reduzindo sua vazão e podendo até fazer com que deixe de existir.

Observando-se a tamanha importância da recuperação de nascentes, ao aprofundarmos na principal técnica utilizada até no próprio programa citado anteriormente, Programa Nascentes, consiste na revegetação da mata ciliar. Essa técnica tem se mostrado efetiva pois, de fato, com a volta da mata ciliar, a nascente consegue se reverter do processo de assoreamento. No entanto, essa recuperação envolve um tempo prolongado, pois o crescimento das árvores plantadas demora anos, pois conforme a própria resolução estipulada pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, para atestar a recuperação de área é necessário acompanhar o processo por 20 anos. (SÃO PAULO, 2014B)

Considerando-se toda essa problemática, o presente estudo iniciou-se a partir do conhecimento de um método não convencional de recuperação de nascente, nomeado como RNM (Recuperação de Nascente Moraes). No entanto, por se tratar de um trabalho empírico, não há muitas análises científicas que será o foco do presente estudo.

O diferencial do método RNM está na redução de tempo necessário para que ocorra a recuperação da nascente e da área de preservação necessária. Isso ocorre, pois nessa metodologia, além de haver atuação na recuperação da vegetação da mesma forma que todos os métodos tradicionais, ele também apresenta processos de intervenção no decorrer do curso d’água. Ou seja, inicia-se o tratamento em vários lugares do curso por onde há passagem de água.

Por isso, para explanar melhor o método ele foi comparado aos métodos tradicionais apontando o seu ponto de melhoria e, conseqüentemente, seu diferencial, além de apresentar as informações necessárias sobre a sua execução e justificar teoricamente a sua funcionalidade.

## 2 OBJETIVO

O presente estudo teve como objetivo principal explicar teoricamente, por meios de conceitos de hidrologia e hidráulica, o método RNM desenvolvido por José dos Santos Moraes para a recuperação hídrica de nascentes.

E como objetivos específicos compara-lo aos métodos tradicionais já estabelecidos por norma e apontar o seu diferencial com embasamento científico destinado a área de Engenharia Civil.

### 3 REVISÃO LITERÁRIA

Devido ao fato do presente estudo tratar-se da apresentação de uma metodologia inovadora como solução de um problema, denominada de recuperação de nascentes assoreadas pelo método RNM, a revisão literária foi dividida em quatro fases principais.

Na primeira parte, será abordado o conceito que abrange todo o sistema envolvido pelas nascentes, explanando o que são, como são formadas e como funcionam em pleno funcionamento por meio de conceitos e representação do ciclo hidrológico e até as etapas e propriedades essenciais para sua recarga.

Em seguida, há a apresentação de análises e estudos sobre o uso e ocupação do solo, os impactos da urbanização e agricultura e, a apresentação de suas consequências. Nessa parte há o conceito sobre o problema do assoreamento em si, abordando como pode ser causado e qual o seu impacto sobre o sistema hídrico.

Na terceira parte, há os conceitos de hidráulica e física para suporte na análise teórica e até para melhor compreensão das técnicas utilizadas no método RNM.

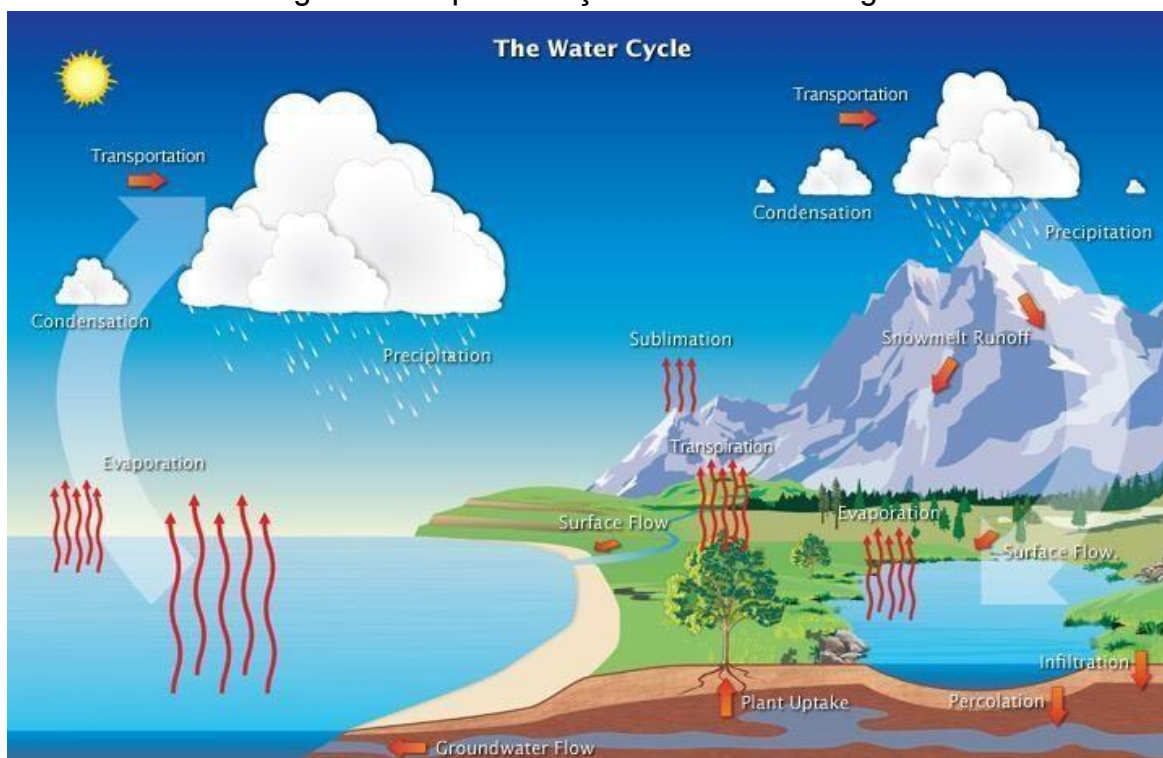
Por fim, na última parte desse capítulo há a apresentação da metodologia já existente e proposta pela legislação do estado de São Paulo, que será comparada a metodologia RNM no capítulo posterior.

#### 3.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE HIDROLOGIA

##### 3.1.1 O Ciclo Hidrológico

De acordo com o NATIONAL WEATHER SERVICE (2019), a definição de Ciclo Hidrológico é a de que ele envolve a circulação contínua de água no sistema Terra-Atmosfera. Em sua essência, o ciclo da água é o movimento da água do solo para a atmosfera e vice-versa. Há inúmeras representações desse ciclo, pois quando analisado de maneira detalhada pode assumir processos bem complexos, afinal estamos analisando todo o processo da água na terra e na atmosfera, de acordo com a figura 1 é possível observar as fases mais relevantes para o presente estudo. Pode-se ainda destacar as fases: precipitação (precipitation), interceptação (interception), infiltração (infiltration), percolação (percolation) e escoamento (runoff).

Figura 1 - Representação do Ciclo Hidrológico



Fonte: NASA (2010)

Partindo-se da análise do ciclo hidrológico a partir da precipitação, a definição fornecida pelo Serviço Climático Nacional dos Estados Unidos (2019), é a de que “a precipitação é o resultado quando as minúsculas partículas de condensação se tornam muito grandes, por meio de colisão e coalescência, para o ar sustentar e, portanto, caem na terra”. A precipitação pode ser na forma de chuva, granizo, neve. Ainda vale ressaltar que, segundo essa mesma fonte: “A precipitação é a principal forma de recebermos água doce na terra”.

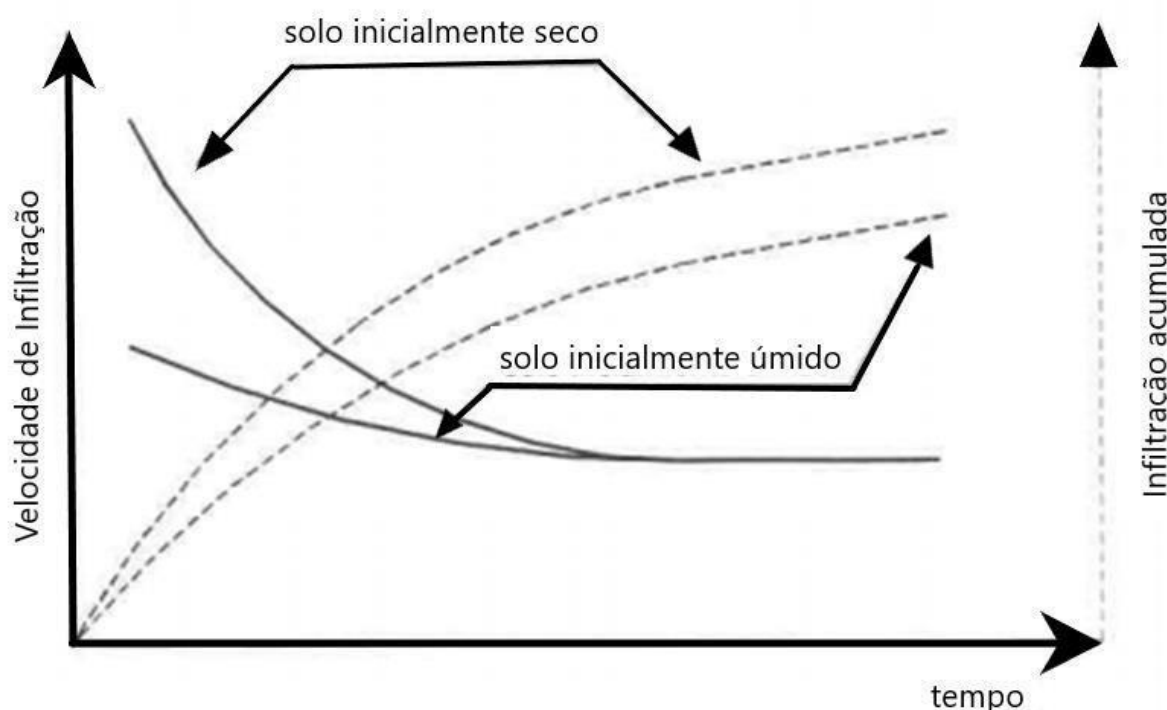
A água derivada da precipitação pode atingir o solo ou ficarem retidas em árvores, plantas ou, em construções urbanas. Quando ela fica retida, seja em árvores ou plantas ou em construções urbanas também é um processo também do ciclo hidrológico e se chama interceptação (CORDERO, A., 2013). Essa etapa é essencial para reter a água do escoamento superficial, derivada da precipitação, reduzindo assim a sua vazão.

Ainda segundo Cordero (2013), o solo é considerado um meio poroso, e toda água vinda da precipitação que o atinge é infiltrada até que a superfície do solo se sature. Segundo Vilella e Mattos (1975), os fatores que podem vir a interferir são a umidade, permeabilidade e temperatura do solo, e por fim, a profundidade do extrato permeável.

Quanto à umidade, segundo Vilella e Mattos (1975), ao início da precipitação, trata-se de um solo inicialmente seco, mas com a sua continuidade, essa umidade aumenta até que ocorra a saturação superficial. Dessa forma, a partir de

determinado ponto observa-se que se passa tratar de um solo inicialmente úmido e essa quantidade de água começa a reduzir a capacidade de infiltração do solo. Assim, à medida que aumenta essa saturação, menos água passa a ser infiltrada. A figura 2 representa como funciona a infiltração em um solo seco e em um solo úmido em relação à velocidade de infiltração e a quantidade de infiltração acumulada no decorrer do tempo.

Figura 2 - Velocidade de Infiltração do solo



Fonte: Carvalho e Silva (2006)

Nessa figura é possível observar que um solo inicialmente seco possui uma maior velocidade de infiltração e uma infiltração acumulada maior, reduzindo conforme o solo se umedece no decorrer do tempo até atingir certo ponto em que se observa a velocidade e infiltração acumulada constante, mas com valores mais bem reduzidos, mostrando que o solo atingiu sua capacidade de infiltração. Assim, quando há o excesso não infiltrado da precipitação, ocasionado pela saturação do solo, há o início do escoamento superficial.

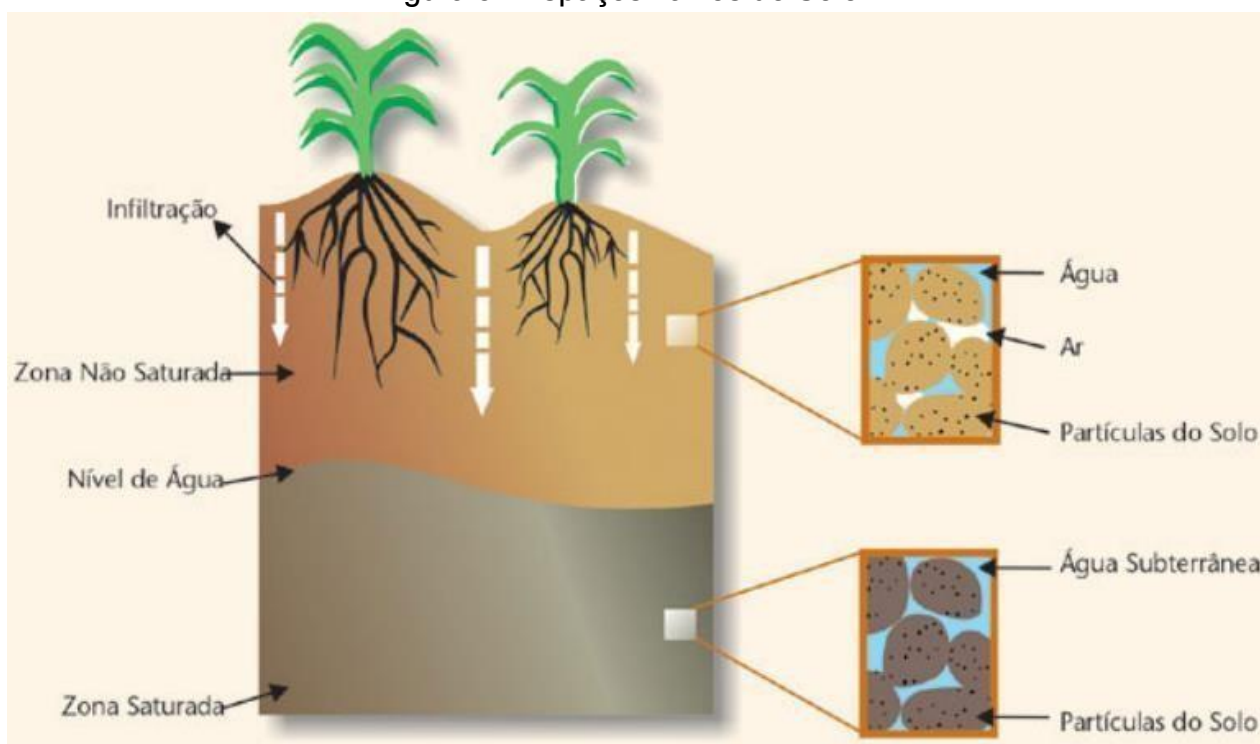
Quanto à permeabilidade do solo, por definição “[...] é a propriedade que representa uma maior ou menor dificuldade com que a percolação da água ocorre através dos poros do solo [...]”. (ROSA, *et al.*, 2006). No entanto, um ponto para se atentar é que a permeabilidade não é a capacidade de infiltração em si, segundo Vilella e Mattos (2006), ela é a velocidade de infiltração em um gradiente unitário de carga hidráulica em um fluxo unitário de meio poroso, não dependendo das

condições de contorno, mas sim da dimensão dos grãos e da forma como eles estão distribuídos e, por fim, dependem também da temperatura da água.

Há alguns fatores que alteram diretamente a permeabilidade, conseqüentemente, a capacidade de infiltração, que são a cobertura vegetal ou a falta dela, pois a permeabilidade de um solo com cobertura vegetal é diferente de uma com o solo desmatado e ambas são diferentes da permeabilidade de um solo concretado. A compactação do solo e a infiltração de materiais finos também são fatores que interferem na permeabilidade. (VILELLA; MATTOS, 2006)

Por fim, na permeabilidade, assim como na umidade, suas características serão essenciais para determinar se a água vinda da precipitação irá infiltrar ou irá escoar. Partindo-se da premissa que, seja um solo com cobertura vegetal em seu estado de umidade ainda baixo, a água irá infiltrar e após esse processo ela irá percolar e passar a ser conhecida como água subterrânea. Essa água passará por caminhos através dos espaços vazios do solo e, em seguida, do subsolo. Esses espaços percorridos estão bem representados pela figura 3 a seguir. A facilidade com que a água pode passar por esses espaços é uma propriedade do solo e se chama porosidade. (MARTINS FILHO, 2013)

Figura 3 - Espaços vazios do Solo

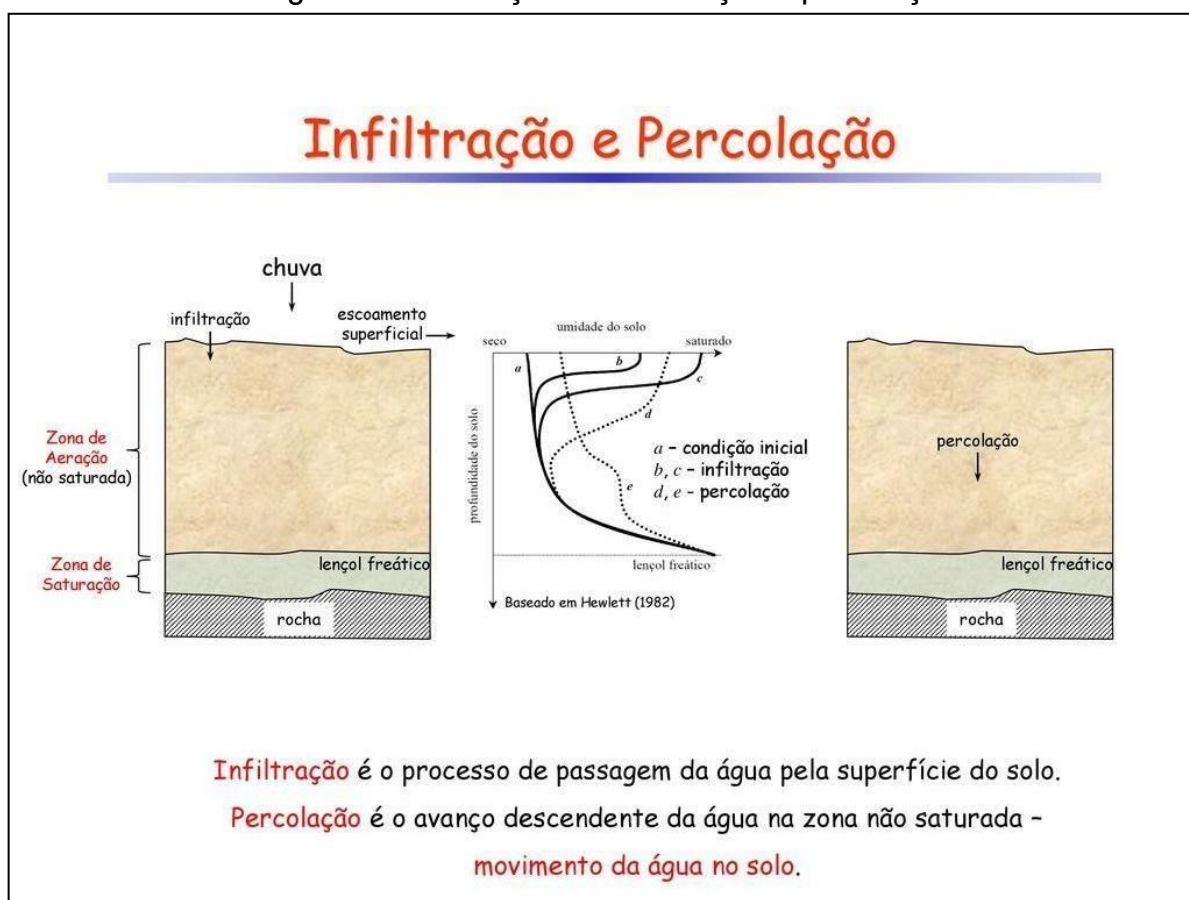


Fonte: Martins Filho (2013)

Após a infiltração da água, começa a atingir camadas mais profundas do solo devido a ação das tensões capilares dos poros e da gravidade, e então, a partir do momento que a água se insere na zona não saturada do solo o processo passa a se

chamar percolação e a diferença entre esses dois processos estão representados na figura 4. (BORMA; RENNÓ, 2017)

Figura 4 - Diferença entre infiltração e percolação

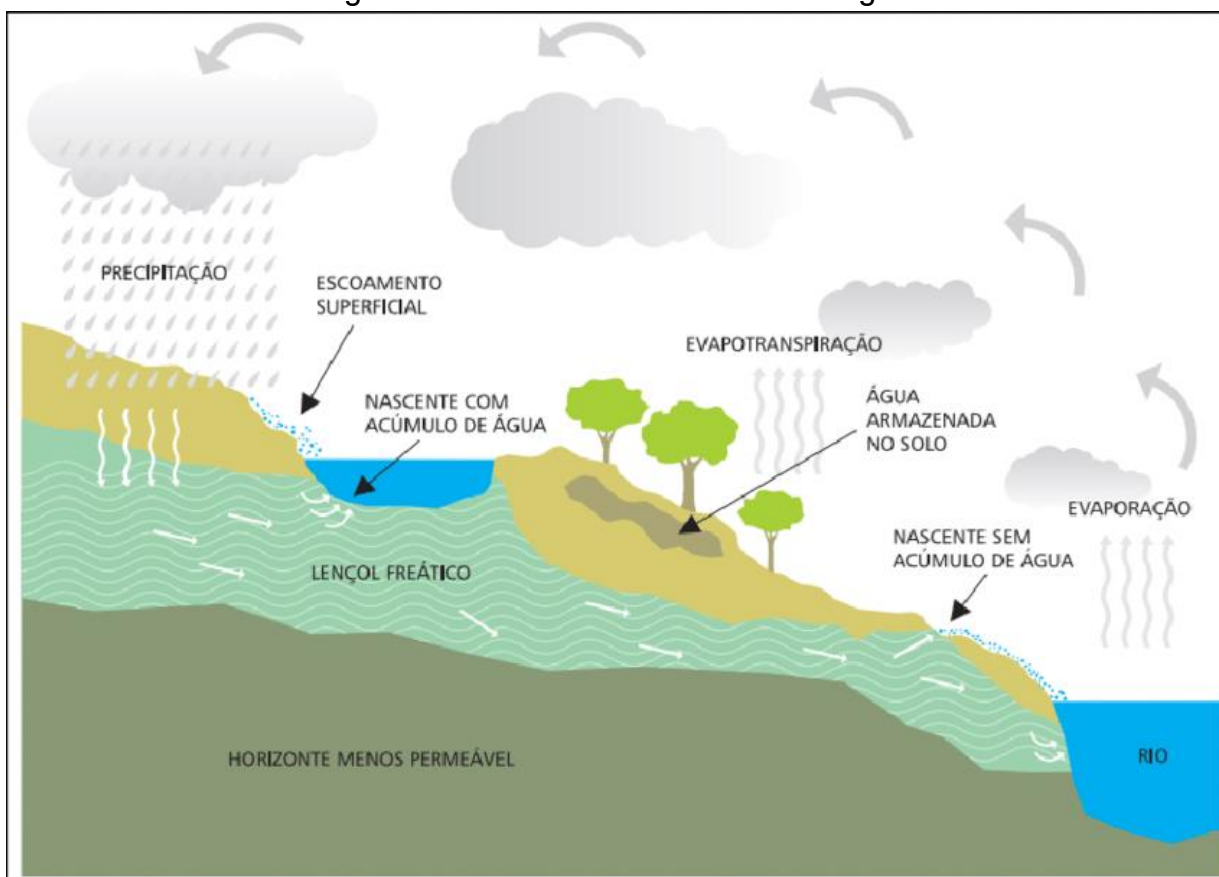


Fonte: Borma e Rennó (2017)

Segundo Cleary (2007), o movimento da água subterrânea é muito mais lento do que o escoamento superficial, pois a água subterrânea move-se na faixa de 1 metro/dia enquanto, o escoamento superficial em um rio rápido pode chegar a 1 metro/segundo.

Após o processo de infiltração e percolação, a água chega ao lençol freático e percorre somente o percurso subterrâneo a partir de então. Essa água voltará à superfície de maneira natural apenas através do afloramento das nascentes e contribuir naturalmente para o escoamento de base dos rios. (CORDERO, 2013) Na figura 5, tem-se uma representação do ciclo hidrológico com o diferencial da presença explícita da nascente, evidenciando o que foi descrito nas linhas acima.

Figura 5 - A Nascente no Ciclo Hidrológico



Fonte: Luiz (2019)

Quanto ao processo de escoamento superficial no ciclo hidrológico, Vilella e Mattos (1975) o definem como sendo a fase mais importante para um engenheiro, pois é todo o transporte de água na superfície terrestre. Ele engloba desde o excesso de água após uma precipitação intensa, até o escoamento de um rio, sendo esse alimentado ou pelo excesso de precipitação ou pelo processo da água subterrânea já descrita acima.

O escoamento superficial pode sofrer interferência de vários fatores, que podem facilitar ou dificultar seu processo. O primeiro agente relevante para esse estudo é a precipitação, podendo interferir devido a sua duração, intensidade e até a precipitação antecedente, pois a umidade do solo é importante para definir se a água irá escoar ou infiltrar. O segundo agente é a permeabilidade do solo, pois ela também intervirá se a água irá infiltrar ou escoar.

Levando-se em conta o ciclo hidrológico descrito acima, observa-se que após a precipitação, o processo de infiltração e percolação é o responsável por realizar a recarga de água das nascentes e o escoamento superficial para a recarga de base a partir do momento que a nascente aflora e já se torna um curso d'água. Ambos os processos dependem de propriedades que são alteradas dependendo do meio, como por exemplo, a permeabilidade e a porosidade, conforme já citado anteriormente. As formas como essas propriedades se comportam diferem muito de

um material para o outro principalmente quando se compara um meio de vegetação natural com um meio urbanizado ou sem a cobertura vegetal, dessa forma, essas diferenças serão analisadas no próximo tópico.

## 3.2 O USO DO SOLO

Conforme foi mostrado no tópico anterior, as características do solo é um dos fatores determinantes para definir o funcionamento do ciclo hidrológico. Por isso, esse capítulo realizará a revisão dos impactos e do uso desregulado do solo no meio urbano e na agricultura bem como as suas consequências.

### 3.2.1 O Solo em Meio Urbano

Para que haja a execução de suas funções básicas dentro do ciclo hidrológico, o solo considerado ideal seria um com cobertura vegetal nativa, pois quando há a presença de árvores e vegetações há uma contribuição de matéria orgânica nos solos, e isso contribui para a conservação da umidade, para o aumento da capacidade de absorção e infiltração da água. Existe também, uma redução no risco de erosão e por fim, há a estimulação da atividade biológica. (MUSCHLER, 2000 citado por MENDONÇA *et al.*, 2009)

No entanto, o mundo atual conta com um processo de urbanização crescente e de forma acelerada. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), durante os anos de 1970, a porcentagem da população que vivia nas cidades no Brasil era de 70%, e em 2015, já era de 84,72%. Em consequência, uma das principais características do processo de urbanização em si, é a retirada dessa cobertura vegetal substituindo-a por asfaltos, concretos, construções etc.

Por ser um processo ainda em andamento, os conhecimentos e as pesquisas sobre todos os impactos e comportamentos nas alterações do solo, ainda estão sendo estudadas e muitas questões ainda não estão concluídas (PEDRON *et al.*, 2004). No entanto, as consequências já são visíveis e bastante recorrentes, pois frequentemente depara-se com notícias de erosões, enchentes, deslizamentos etc. Sendo esses, todos problemas causados devido a urbanização e que, conseqüentemente, interferem diretamente nos processos hidrológicos.

Em processos de urbanização e até mesmo na agricultura, há a necessidade de compactação do solo, seja por necessidade de construções ou obras ou até mesmo como sendo consequência da passagem de máquinas e veículos por determinada área. Na figura 6 segue um exemplo de compactação observada na agricultura, e na figura 7 observa-se um exemplo de compactação para a construção

de uma rodovia, um processo de urbanização. A compactação tem por definição como sendo uma redução do volume de solos não saturados causados por uma força externa. (MORAES, M., 2020)

Figura 6 - Compactação no campo



Fonte: Moraes, M., 2020

Figura 7 - Compactação do solo para a construção de uma rodovia



Fonte: Dynapac, 2017

Devido ao fato de a compactação reduzir o volume do solo, há a redução da capacidade de infiltração da água, pois reduz o volume disponível para a água percorrer, pois há a redução dos espaços vazios e, como vimos na figura 3, do capítulo anterior, eles são imprescindíveis para o percurso da água. Com essa alteração, a água vinda da precipitação, passa a escoar ao invés de infiltrar. Essa redução na infiltração faz com que menos água chegue aos lençóis freáticos, e consequentemente, que tenha mais água escoando, aumentando o risco de enchente, por exemplo. Na figura 8 há uma representação de como funciona a infiltração em ambos os solos: ao lado esquerdo temos uma plantação em um solo compactado enquanto a plantada do lado direito está em um solo não compactado. Concluindo a observação de que há uma redução da infiltração no solo que sofreu a compactação.

Figura 8 - Infiltração de um solo compactado e não compactado



Fonte: Moraes, 2020

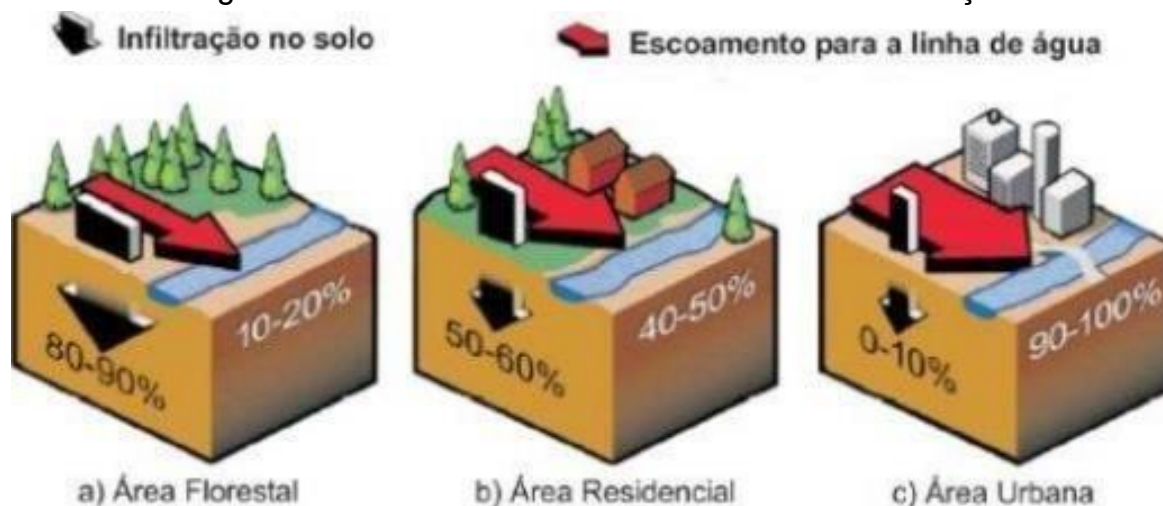
Os principais efeitos da compactação do solo no ciclo hidrológico são: a redução do volume do solo, que altera a porosidade, pois reduzem o volume de vazios, há também a redução da permeabilidade do solo, que causam uma redução da infiltração, e conseqüentemente, a redução da quantidade de água subterrânea, diminuindo a recarga dos aquíferos e, por fim, toda essa água irá para escoamento superficial.

Além da própria compactação, há outros fatores que interferem na capacidade de infiltração do solo, como citado anteriormente há a retirada da matéria orgânica, e, há a capacidade de absorção do asfalto, que é menor que o solo em condições naturais, ou seja, menos permeável, gerando as mesmas conseqüências citadas causadas pela redução da capacidade de absorção e infiltração.

Na figura 9, observam-se em representação os impactos quando se altera a cobertura do solo, em que na condição de área florestal não há nenhuma intervenção humana, havendo cobertura vegetal e a capacidade de infiltração encontra-se em 80 e 90% da água precipitada. Na condição de área residencial, há algumas construções, porém, ainda se observa a presença de áreas verdes, e a taxa de infiltração encontra-se entre 50 a 60% do total da água precipitada. E no

último caso, há uma área totalmente urbanizada, sem áreas verdes, apontando uma taxa de infiltração entre 0 e 10% do total precipitado, concluindo que o solo se encontra impermeabilizado.

Figura 9 - Permeabilidade do Solo em diferentes condições



Fonte: Souza, 2015

### 3.2.2 A Erosão do Solo

O processo de erosão é a desagregação das partículas do solo seguido pelo transporte e pela sedimentação. São causados pela ação da chuva e do vento. Esse fenômeno costuma ocorrer na parte mais superficial do solo que seria a parte mais fértil, ou seja, onde haveria a maior possibilidade do desenvolvimento radicular da vegetação. (HUDSON, (1995); AGASSI, (1996); HILLEL, (1998), citado por PEDRON *et al.*, 2004) Logo, com a retirada desse solo, com o tempo, impossibilitará o surgimento de plantas.

Quanto maior a intensidade e a duração da precipitação, maior o potencial de erosão, pois o impacto das gotas de água no solo pode quebrar os agregados do solo e dispersar o material agregado. A força externa tanto da água como do vento é um fator importante para o processo de erosão, da mesma forma que o tipo de solo. Pois, um solo formado com materiais agregados mais leves, como a areia, é removido com uma força menor do que um solo formado com partículas de maiores agregados e cascalhos, por exemplo. (RITTER, 2012)

Como o processo erosivo é comandado pela força da chuva e do vento, o escoamento superficial é o principal responsável pelo comportamento dele. Sendo assim, todas as variáveis que foram mencionadas anteriormente que afetam a absorção e infiltração da água no solo, e conseqüentemente aumentam o

escoamento superficial estão colaborando para a erosão do solo. Na figura 10, tem-se um exemplo da força erosiva de um escoamento superficial.

**Figura 10 - A força erosiva de escoamento superficial concentrado**



Fonte: Ritter, 2012

Ainda segundo Ritter (2012), quando o solo é formado por uma cobertura vegetal há a proteção do solo contra os respingos de gota de chuva e do vento. A própria cobertura tende a desacelerar o movimento da água de escoamento e como foi exposto anteriormente, ela fornece a água as condições de infiltrar no solo.

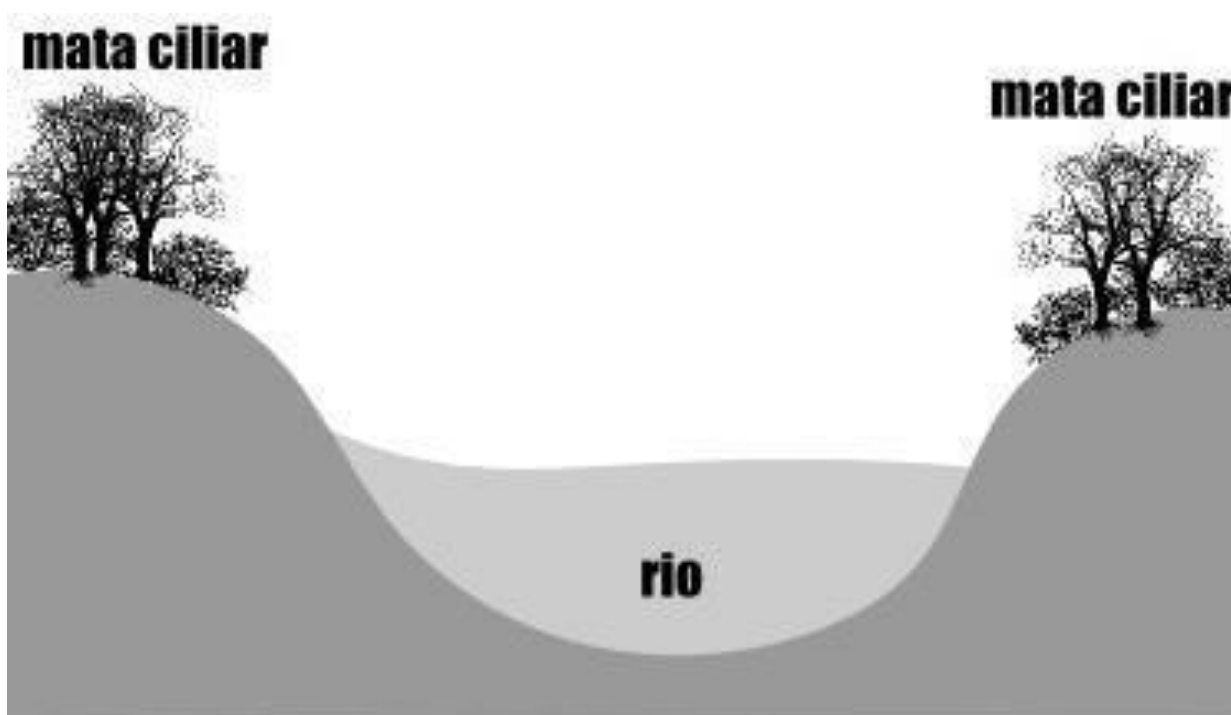
Ashman e Puri (2002) citado por Guerra e Jorge (2014), afirmam que a erosão dos solos é um processo natural e que os ambientes onde possuem qualquer tipo de declividade superior a  $3^\circ$  (classe suave-ondulado) estão susceptíveis ao processo erosivo. No entanto, seus problemas começam após as taxas de perda de o solo ultrapassar os níveis naturais, que começam a ocorrer quando há as interferências humanas como a urbanização gerando ações já comentadas como desmatamento, a retirada da cobertura vegetal e a compactação do solo.

Para esse estudo em específico, o problema maior da erosão está na deposição desse sedimento. Pois, de acordo com Guerra e Jorge (2014), além da retirada dos nutrientes do solo, também causa assoreamento e poluição onde os sedimentos se depositam. Dessa forma, chega-se ao problema apresentado no presente trabalho, que será discutida no tópico seguinte.

### 3.2.3 O Assoreamento em nascentes

Pena (2021) definiu assoreamento como sendo o processo em que há o acúmulo de sedimentos em cursos de água, resultando no excesso de material causando várias consequências, como a dificuldade de navegação, redução da velocidade do curso d'água. As figuras 11 e 12 representam o esquema antes e depois do assoreamento dos leitos dos rios, respectivamente. Na figura 11 observa-se um curso normal, sem intervenção humana e presença de mata ciliar. Enquanto na figura 12, há observa-se que há a remoção da mata ciliar, que como vimos no tópico da erosão, o desmatamento acelera bastante o processo erosivo que gera a deposição de sedimentos no curso d'água. O assoreamento de nascentes também funciona da mesma forma, pois a nascente é o afloramento do lençol freático, ou seja, o início de um curso d'água.

Figura 11 - Curso d'água em condições normais



Fonte: Pena, 2021

Figura 12 - Curso D'água assoreado



Fonte: Pena, 2021

Quanto maior a quantidade de sedimentos depositados no curso d'água, mais comprometido ele se encontrará. A partir de certo ponto, há tantos sedimentos que a velocidade da água se torna insuficiente para continuar o percurso, dessa forma, é comum em casos de assoreamento, existir alteração no percurso da água, na tentativa de vencer a barreira de sedimentos impostas, como é possível observar na figura 13. Em alguns casos, a velocidade do curso se torna tão baixa que passa a ser insuficiente para continuar o percurso, dessa forma, a nascente deixa de aflorar água e se torna uma nascente assoreada.

Figura 13 - Curso D'água Assoreado



Fonte: Wikipedia, 2015

### 3.3 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE FÍSICA E HIDRÁULICA

Para melhor compreensão teórica da funcionalidade dos métodos abordados nesse estudo, é de extrema importância entender a lei da conservação das massas e os conceitos da equação da continuidade que serão apresentados exatamente nessa sequência a seguir.

#### 3.3.1 Lei da Conservação das Massas

Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) foi a pessoa quem definiu a lei de conservação das massas ao criar a lei de Lavoisier, que diz: "Na Natureza nada se cria e nada se perde, tudo se transforma". Segundo Britannica (2021), a lei de conservação das massas resulta em que não há como a matéria ser criada ou ser destruída. Todas as alterações de propriedades sejam de ordem física ou química em um sistema isolado não alteram a massa final. A lei da conservação da massa

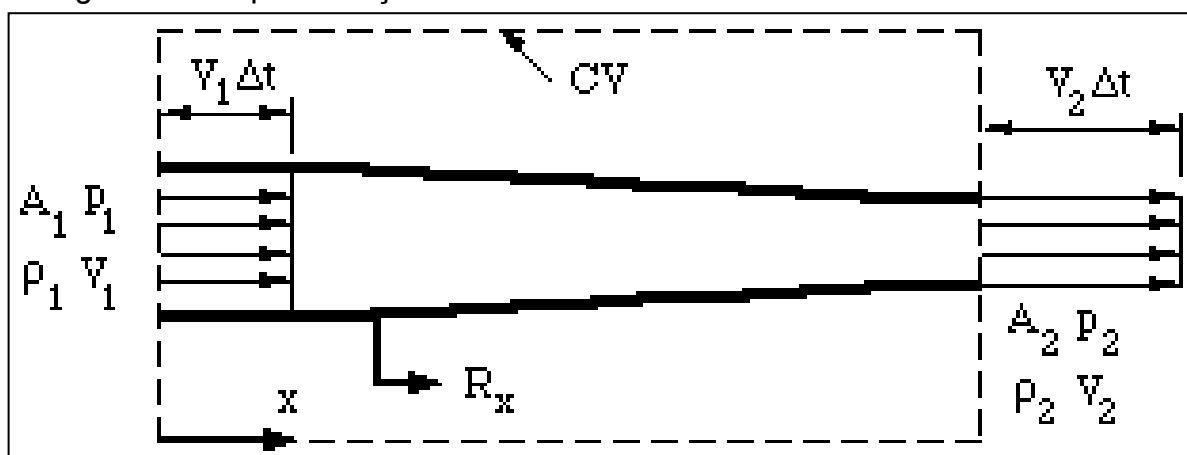
rege os principais conceitos de hidráulica e um dos mais importantes que será mostrado em seguida é a equação da continuidade que é uma equação matemática que descreve a equação da continuidade.

### 3.3.2 A equação da continuidade

Partindo-se do princípio da conservação das massas, a equação da continuidade consiste em relacionar a velocidade com a área disponível para o deslocamento de um fluido em um escoamento laminar, sendo esse, o escoamento que, a partir de um ponto fixo não apresenta variação da velocidade com o tempo.

Bicycle Web (2007), afirma que, quando um fluido se encontra em movimento o seu deslocamento se dá de forma que a sua massa seja conservada e nessa condição, há a imposição no campo da velocidade. Para abordar essa análise, há uma representação na figura 14, e é importante considerar que o fluxo é constante no percurso, ou seja, o fluxo de entrada e saída não apresentam variação com o tempo, considera-se também que são unidimensionais, e a velocidade e densidade do fluido são consideradas constantes no decorrer da área A.

Figura 14 - Representação do volume de controle de um canal unidimensional



Fonte: Bicycle Web, 2007

Na figura 14 tem-se uma representação de um fluido em escoamento em um volume de controle "cv" ("control volume"), esse escoamento é considerado como escoamento permanente e sofre redução de área disponível, passando de  $A_1$  para  $A_2$ . No entanto, partindo-se da teoria de conservação de massas é possível estabelecer uma relação entre essas duas situações, pois, segundo a equação da continuidade a quantidade de massa permanece constante, dessa forma, ainda segundo Efluids (2007), na figura 15 há as equações dessa relação feita através da figura 14. Sendo "volume flow in over" o volume na entrada do volume de controle e "volume flow out over" o volume de saída do volume de controle.

Figura 15 - Equação da Continuidade

$$\text{Volume flow in over } A_1 = A_1 V_1 \Delta_1$$

$$\text{Volume flow out over } A_2 = A_2 V_2 \Delta_2$$

Therefore,

$$\text{Mass in over } A = \rho A_1 V_1 \Delta T$$

$$\text{Mass out over } A = \rho A_2 V_2 \Delta T$$

So:

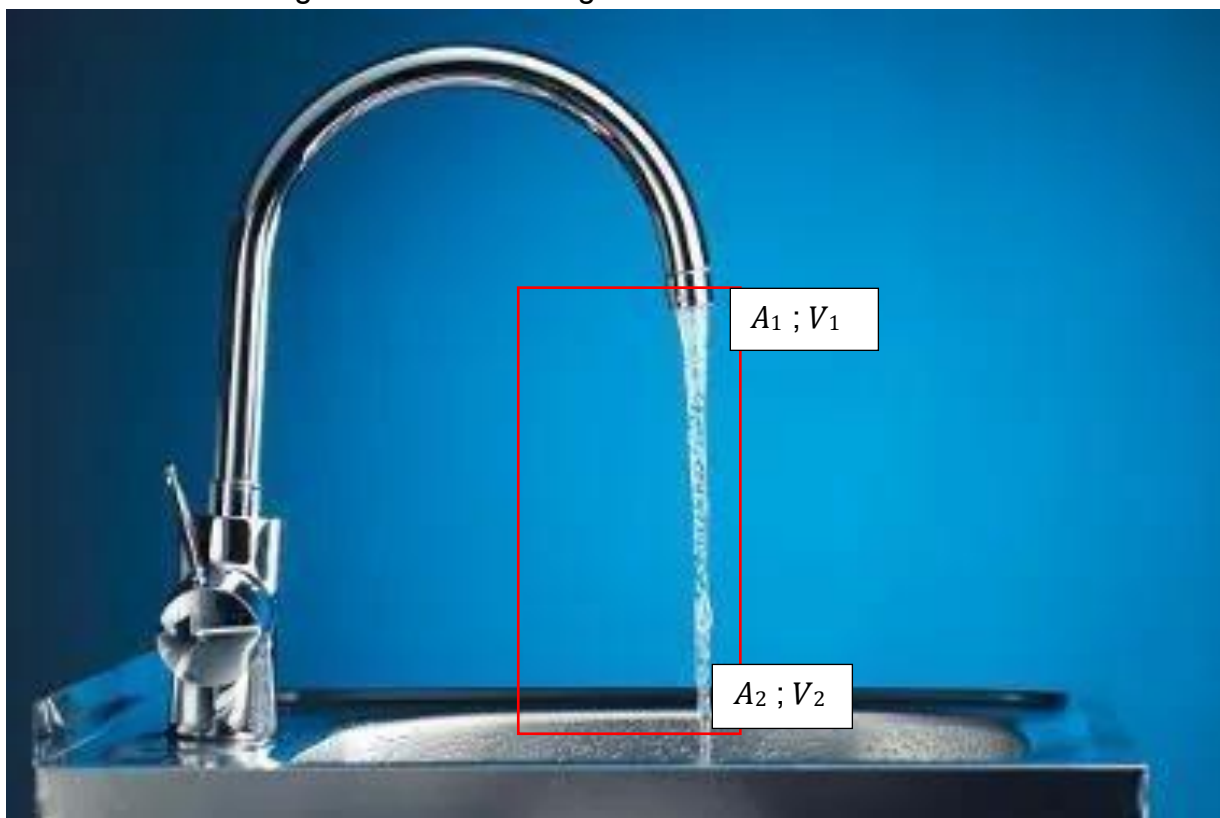
$$\rho A_1 V_1 = \rho A_2 V_2$$

Fonte: Bicycle Web, 2007

A partir das figuras 14 e 15, se estamos falando do mesmo fluido, e conseqüentemente, que apresenta a mesma densidade  $\rho$ , quando há uma redução de área, para que continue valendo a igualdade da equação, há um aumento da velocidade. Ou seja, a velocidade de saída  $V_2$  é maior que a velocidade de entrada  $V_1$ .

Um exemplo prático da equação da continuidade há a simples representação da água saindo da torneira, considerando o volume de controle delimitado pela linha da cor vermelha como sendo desde a saída da torneira, até o momento em que a água atinge a pia, em que o momento de saída se refere a  $A_1$  e  $V_1$  e o momento que a água atinge a pia como sendo  $A_2$  e  $V_2$ , observa-se a redução da área de deslocamento do fluido devido ao aumento da velocidade ocasionado pela aceleração da gravidade. Dessa forma, como não há adição e nem perda de massa segundo a lei da conservação das massas, houve a redução da área mais próxima do solo e conseqüentemente, um aumento da velocidade, justificado já anteriormente, devido à aceleração da gravidade. (SILVA JÚNIOR, 2021)

Figura 16 - Fluxo de água saindo de uma torneira



Fonte: Silva Júnior, 2021.

Para esse estudo, a observação principal é analisar os impactos que ocorrem quando há a redução da área disponível para o deslocamento do fluido, que nesse caso, é a água. Dessa forma, com a lei da conservação das massas e a teoria da continuidade, observa-se que o impacto principal é o aumento da velocidade.

### 3.4 RECOMPOSIÇÃO DE NASCENTES ESTIPULADA PELA NORMATIVA DA SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

#### 3.4.1 Introdução

Conforme foi visto nos tópicos anteriores, uma área com cobertura vegetal possui as condições ideais para o pleno funcionamento do ciclo hidrológico, ou seja, quanto mais desmatada uma área, maior a taxa de escoamento superficial e menor a taxa de infiltração, deixando o solo mais susceptível ao risco de erosões e assoreamentos. Essas coberturas vegetais nas proximidades dos cursos d'água são comumente conhecidas por matas ciliares e a sua retirada coloca em risco a qualidade e a quantidade da água disponíveis no curso, além de afetar estabilidade das margens e até mesmo a fauna aquática e silvestre do local.

Segundo Botelho (2015), as matas ciliares conseguem interceptar os sedimentos e até mesmo defensivos agrícolas protegendo o solo e a água. Suas raízes formam uma malha que fornece estabilidade aos barrancos e encostas das margens dos rios que retêm o escoamento superficial e impede o assoreamento de rios e nascentes. Dessa forma, nota-se que claramente a retirada da mata ciliar coloca em risco a qualidade e a quantidade de água disponível nos cursos d'água.

Por ser um ambiente com o solo fértil e haver presença de água e alimento, as matas ciliares também são importantes para a fauna do local, pois apresenta condições propícias para abrigo e até para a reprodução de animais aquáticos e silvestres. Sendo assim, a retirada da mata ciliar não afeta apenas as condições hidrológicas de um ambiente, ela um ecossistema, pois atua na proteção de cursos d'água, da fauna e da própria flora. (BOTELHO, 2015)

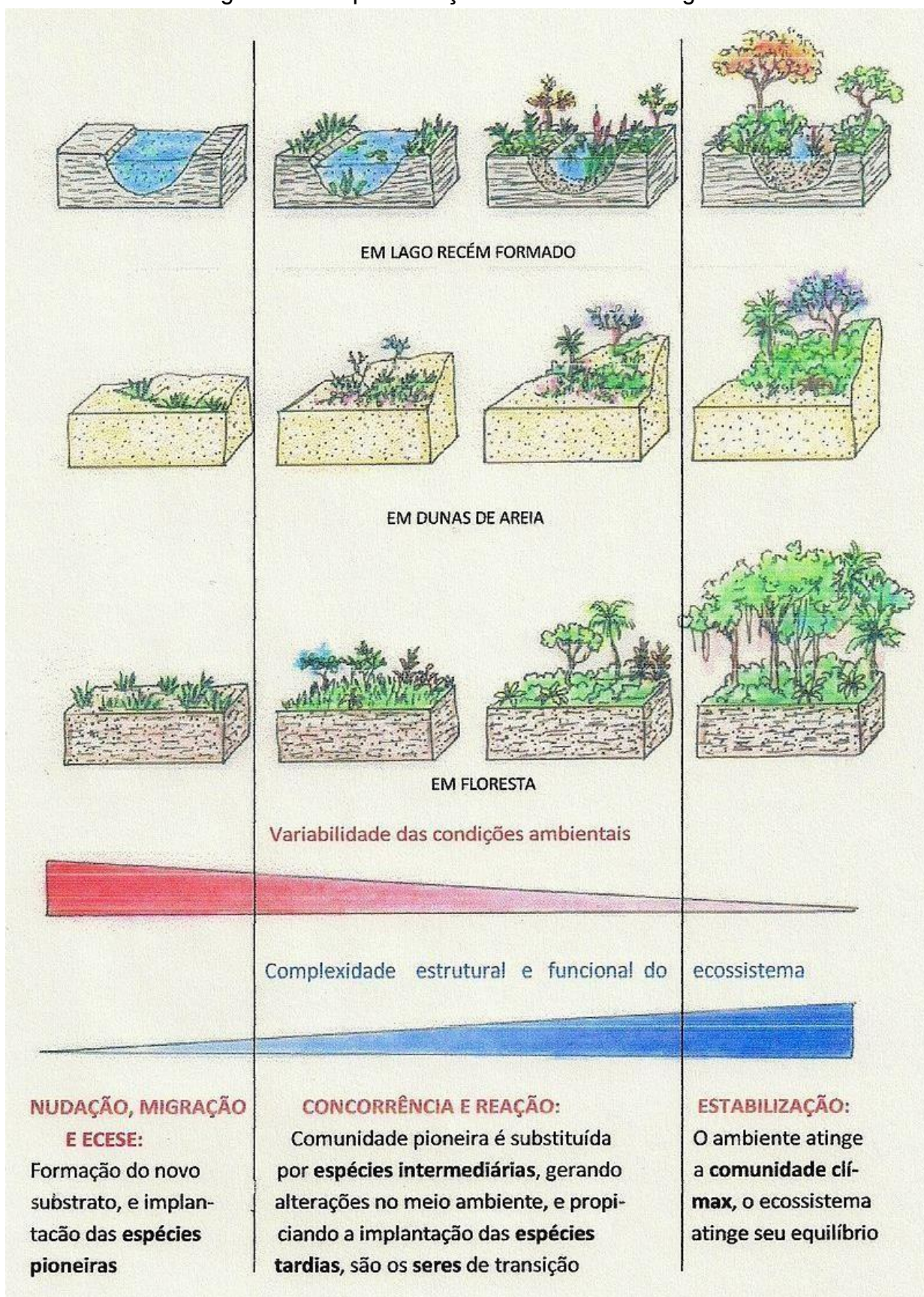
No Brasil, principalmente devido à urbanização e a agricultura, muitas áreas onde se encontravam matas ciliares foram desmatadas e atualmente, devido às consequências enfrentadas, como erosões e assoreamentos do curso d'água, os próprios proprietários das terras e o governo buscam reverter às consequências com a recomposição da vegetação dessas áreas. Afinal, ter uma fonte de água em sua propriedade pode trazer muito mais benefícios do que a área desmatada para uso traria.

### 3.4.2 Disposições Gerais do Método

A restauração ecológica trata-se de uma intervenção humana intencional em um ecossistema degradado ou alterado com o intuito de desencadear, facilitar ou acelerar o processo de sucessão ecológica. (SÃO PAULO, 2014B) Esse processo tem por definição, segundo Miranda (2009), *“como um processo ordenado de mudanças no ecossistema, resultado da modificação do ambiente físico pela comunidade biológica, culminando em um tipo de ecossistema persistente: o clímax”*.

Na figura 17, tem-se a representação gráfica do que seria uma sucessão ecológica em vários casos. O principal deles é a primeira representação, em que mostra a sucessão ecológica em um curso d'água. Em que, no início encontra-se uma área sem cobertura vegetal, onde há a implantação de mudas e, no último estágio há o ambiente estabilizado com matas ciliares e a presença até de plantas aquáticas comumente chamadas de clímax e que representa o objetivo principal desse método.

Figura 17 - Representação da Sucesso Ecológica



### 3.4.3 As Etapas do Projeto de Restauração Ecológica

Para haver o cadastro e aprovação dos projetos, a presente resolução analisada estipula que cada seja constituída de cinco fases: (SÃO PAULO, 2014B, p.6)

- I - Diagnóstico da área objeto da restauração;
- II - Proposta de Projeto de Restauração Ecológica;
- III - Implantação da metodologia e das ações previstas no Projeto de Restauração Ecológica;
- IV - Manutenção e monitoramento do Projeto de Restauração Ecológica;
- V - Conclusão do Projeto de Restauração Ecológica.

Os tópicos seguintes consistem em apresentar o que cada fase estipula como objetivo para atingir a meta principal de restauração ecológica.

### 3.4.4 O diagnóstico da área objeto da restauração

Definido como a fase que servirá de fundamento para o projeto em si e suas tomadas de ações, a fase um, de diagnóstico, possui em uma subdivisão com o objetivo de compreender a área objeto em suas características mais relevantes para o presente estudo. Por isso, serão levantadas características como: o bioma e o tipo de vegetação presente na área e o potencial que ela apresenta de regeneração natural. Também, deverá ser avaliado o estado em que o solo apresenta em sua conservação e a dinâmica hídrica existente e levantar informações como a localização, extensão e declividade da área objeto. (SÃO PAULO, 2014B)

Nessa fase, também há a importante etapa de avaliar se há algum fator de perturbação como a existência de gado, se há algum predador de vegetação como as formigas cortadeiras, ou até mesmo se há presença de alguma espécie exótica com potencial de invasão. Por fim, o risco de incêndio e secas prolongadas também fazer parte do fator de perturbação e devem ser mapeados. (SÃO PAULO, 2014B)

### 3.4.5 A proposta de Projeto de Restauração Ecológica

Na proposta, deve ser apresentada a metodologia selecionada, sendo consideradas como metodologia: (SÃO PAULO, 2014B, p.7)

- I - Condução da regeneração natural de espécies nativas;
- II - Plantio de espécies nativas;
- III - Plantio de espécies nativas conjugado com a condução da regeneração natural de espécies nativas;

IV - Plantio intercalado de espécies lenhosas, perenes ou de ciclo longo exóticas com nativas de ocorrência regional.

Para a seleção da metodologia, é importante avaliar se ela está de acordo com o diagnóstico da área (comentado no tópico anterior), e ainda contemplar as limitações legais que incidem sobre a área, como por exemplo, áreas de preservação permanente (APP) e as restrições com vegetação exótica que seguem nos dois artigos, respectivamente da resolução: (SÃO PAULO, 2014B, p.8)

Artigo 12 - O método previsto no inciso IV somente será permitido nas Áreas de Preservação Permanente dos imóveis a que se refere o inciso VI do artigo 2º, respeitando-se o limite percentual de até 50% (cinquenta por cento) da área total da Área de Preservação Permanente - APP a ser recomposta, conforme Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

Artigo 13 - O método previsto no inciso IV artigo 11 em áreas de Reserva Legal, para todos os imóveis, deverá observar que a área recomposta com espécies exóticas não poderá exceder a cinquenta por cento da área total a ser recuperada, conforme Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012, além de normativas específicas, quando houver.

Por fim, a proposta deverá conter ações contra os fatores de perturbação também levantados no item anterior e ainda devem seguir as seguintes normas: (SÃO PAULO, 2014B, p.7, 8)

§ 1º - A metodologia de restauração ecológica deve ser compatível com o diagnóstico ambiental da área, levando-se em conta as restrições legais incidentes sobre a área.

§ 2º - Para todos os métodos, os indivíduos provenientes de regeneração de espécies nativas que forem constatados na área deverão ser conduzidos visando ao seu estabelecimento e desenvolvimento.

§ 3º - O restaurador somente poderá optar pelo método a que se refere o inciso I quando constatar que há potencial efetivo de regeneração natural na área.

§ 4º - Para os métodos a que se referem os incisos II e III, poderá ser realizado o cultivo intercalar temporário de espécies exóticas sem potencial de invasão herbáceas ou arbustivas, tais como culturas agrícolas anuais ou espécies de adubação verde, como estratégia de manutenção da área a fim de auxiliar o controle de gramíneas com potencial de invasão e favorecer o estabelecimento da vegetação nativa.

§ 5º - Não poderão ser utilizadas espécies exóticas com potencial de invasão nas ações de restauração ecológica.

§ 6º - O plantio intercalado de espécies lenhosas, perenes ou de ciclo longo, exóticas com nativas de ocorrência regional, quando couber, deverá ser realizado de modo a não comprometer a regeneração natural e não descaracterizar a fisionomia da vegetação nativa.

§ 7º - No caso de supressão de vegetação nativa autorizada em licenciamento 1.1.1 SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE GABINETE DO SECRETÁRIO GA ambiental, o banco de sementes e de plântulas poderá ser utilizado na mesma fitofisionomia e dentro da mesma Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHi, como técnica complementar no âmbito dos métodos descritos neste artigo, desde que em conformidade com os procedimentos específicos previstos no próprio licenciamento ambiental.

### 3.4.6 Implantação, Manutenção e Monitoramento do Projeto

A etapa de implantação consiste na aplicação da metodologia escolhida no tópico anterior somada as ações que isolem o fator de perturbação presente na área objeto, que como definido anteriormente, consiste na presença de animais como gado, insetos predadores que podem vir a interferir negativamente na metodologia selecionada como as formigas cortadeiras e espécies exóticas.

Quanto à manutenção e monitoramento do projeto, a resolução estabelece algumas normas. Para a manutenção, institui-se que deverão ser realizadas ações após a implantação do projeto e elas deveram ocorrer até que haja a comprovação de restabelecimento da condição não degradada do ecossistema. Deverão ser medidos os seguintes indicadores: (SÃO PAULO, 2014B, p.7, 8)

- I - Cobertura do solo com vegetação nativa, em porcentagem;
- II - Densidade de indivíduos nativos regenerantes, em indivíduos por hectare;
- III - Número de espécies nativas regenerantes.

Esses três itens serão avaliados conforme os critérios e porcentagens específicos para cada tipo de vegetação e constam nas figuras 18, 19, 20 abaixo que foram retiradas da própria resolução. Na figura 18 os valores são destinados a áreas que são florestas ombrófilas e estacionais restinga florestal e mata ciliar em região de Cerrado. A figura 19 refere-se a áreas de Cerradão e Cerrado stricto sensu e por fim, a figura 20 é destinada a área de Manguezal, áreas com formações abertas e campestres no bioma Mata Atlântica (campos de altitude; restinga não-florestal) ou áreas com formações abertas no Bioma Cerrado (Campo Cerrado, Campo Sujo, Campo Limpo ou Campo Úmido). Na figura 21 há a definição do que seria a condição crítica, mínima e adequada.

Figura 18 - Valores Intermediários de referência para Monitoramento das Florestas Ombrófilas e Estacionais, Restinga Florestal, Mata Ciliar em região de Cerrado

	Indicador	Cobertura do solo com vegetação nativa (%) <sup>a</sup>			Densidade de indivíduos nativos regenerantes (ind./ha) <sup>***</sup>			No. de espécies nativas regenerantes (n° spp.) <sup>***</sup>		
		Nível de adequação	crítico	mínimo	adequado	crítico	mínimo	adequado	crítico	mínimo
Valores intermediários de referência	3 anos	0 a 15	15 a 80	acima de 80	-	0 a 200	acima de 200	-	0 a 3	acima de 3
	5 anos	0 a 30	30 a 80	acima de 80	0 a 200	200 a 1000	acima de 1000	0 a 3	3 a 10	acima de 10
	10 anos	0 a 50	50 a 80	acima de 80	0 a 1000	1000 a 2000	acima de 2000	0 a 10	10 a 20	acima de 20
	15 anos	0 a 70	70 a 80	acima de 80	0 a 2000	2000 a 2500	acima de 2500	0 a 20	20 a 25	acima de 25
Valores utilizados para atestar recomposição	20 anos	0 a 80	-	acima de 80	0 a 3000	-	acima de 3000	0 a 30	-	acima de 30

Fonte: São Paulo, 2014B

Figura 19 - Valores Intermediários de referência para Monitoramento de Cerradão e Cerrado stricto sensu

	Indicador	Cobertura do solo com vegetação nativa (%)*			Densidade de indivíduos nativos regenerantes (ind./ha)***			No. de espécies nativas regenerantes (n° ssp.)***		
	Nível de adequação	crítico	mínimo	adequado	crítico	mínimo	adequado	crítico	mínimo	adequado
<b>Valores intermediários de referência</b>	<b>3 anos</b>	0 a 15	15 a 80	acima de 80	-	0 a 200	acima de 200	-	0 a 3	acima de 3
	<b>5 anos</b>	0 a 30	30 a 80	acima de 80	0 a 200	200 a 500	acima de 500	0 a 3	3 a 10	acima de 10
	<b>10 anos</b>	0 a 50	50 a 80	acima de 80	0 a 500	500 a 1000	acima de 1000	0 a 10	10 a 15	acima de 15
	<b>15 anos</b>	0 a 70	70 a 80	acima de 80	0 a 1000	1000 a 1500	acima de 1500	0 a 15	15 a 20	acima de 20
<b>Valores usados para atestar recomposição</b>	<b>20 anos</b>	<b>0 a 80</b>	<b>-</b>	<b>acima de 80</b>	<b>0 a 2000</b>	<b>-</b>	<b>acima de 2000</b>	<b>0 a 25</b>	<b>-</b>	<b>acima de 25</b>

Fonte: São Paulo, 2014B

Figura 20 - Valores Intermediários de referência para Monitoramento de Manguezal, áreas com formações abertas e campestres no bioma Mata Atlântica (campos de altitude; restinga não-florestal) ou áreas com formações abertas no Bioma Cerrado (Campo Cerrado, Campo Sujo, Campo Limpo ou Campo Úmido).

<b>Manguezal ** / Formações abertas e campestres no bioma Mata Atlântica (campos de altitude; restinga não-florestal) / Formações abertas no Bioma Cerrado (Campo Cerrado, Campo Sujo, Campo Limpo ou Campo Úmido)</b>				
	Indicador	Cobertura do solo com vegetação nativa(%) *		
	Nível de adequação	crítico	mínimo	adequado
<b>Valores intermediários de referência</b>	<b>3 anos</b>	0 a 15	15 a 80	acima de 80
	<b>5 anos</b>	0 a 30	30 a 80	acima de 80
	<b>10 anos</b>	0 a 50	50 a 80	acima de 80
	<b>15 anos</b>	0 a 70	70 a 80	acima de 80
<b>Valores usados para atestar recomposição</b>	<b>20 anos</b>	<b>0 a 80</b>	<b>-</b>	<b>acima de 80</b>

Fonte: São Paulo, 2014B

Figura 21 - Legenda definida com os conceitos de Crítico, Mínimo e Adequada

<b>Legenda:</b>	
<b>crítico</b>	Não foram atingidos os valores mínimos esperados no prazo determinado e será exigida a readequação do projeto por meio de ações corretivas.
<b>mínimo</b>	Os valores estão dentro da margem de tolerância para o prazo determinado e cumprem as exigências mínimas, porém os valores são inferiores ao esperado, o que indica a necessidade da realização de ações corretivas para não comprometer os resultados futuros.
<b>adequado</b>	Foram atingidos os valores esperados para o prazo determinado.

Fonte: São Paulo, 2014B

Esses valores deverão ser utilizados como referência para atestar a evolução do projeto e a manutenção deve ser realizada quantas vezes forem necessárias até que os indicadores da área sejam o suficiente para atestar a recuperação, ou seja, que os valores atestados em campo estejam dentro os valores usados para atestar recomposição apresentados nas tabelas das figuras anteriores. (SÃO PAULO, 2014B)

#### 3.4.7 Conclusão do Projeto

Por fim, a conclusão do projeto pode ser atestada solicitando uma vistoria para confirmar se os indicadores se encontram dentro dos padrões estabelecidos na figura 22, que nada mais é do que um resumo com o tipo de vegetação e os valores usados para atestar a recomposição apresentado nas figuras do tópico anterior.

Figura 22 - Indicadores necessários para atestar recomposição

TIPO DE VEGETAÇÃO	INDICADOR E UNIDADE DE MEDIDA		
	Cobertura do solo com vegetação nativa (%)*	Densidade de indivíduos nativos regenerantes (ind./ha)**	No. de espécies nativas regenerantes (n° spp.) ***
Florestas ombrófilas e estacionais**	acima de 80	acima de 3.000	acima de 30
Restinga Florestal**	acima de 80	acima de 3.000	acima de 30
Mata Ciliar em região de Cerrado**	acima de 80	acima de 3.000	acima de 30
Cerradão ou Cerrado <i>stricto sensu</i>	acima de 80	acima de 2.000	acima de 25
Manguezal**	acima de 80	-	-
Formações abertas e campestres no bioma Mata Atlântica (Campos de Altitude; Restinga Não-florestal)	acima de 80	-	-
Formações abertas no bioma Cerrado (Campo Cerrado, Campo Sujo, Campo Limpo ou Campo Úmido)	acima de 80	-	-

Fonte: São Paulo, 2014B

Caso os valores não sejam atingidos, segundo a resolução, ainda é obrigatório a necessidade de recomposição e isso independe das sanções administrativas que serão aplicadas. Por isso, é necessário o registro caso ocorra algum motivo de força maior que impossibilitarão essa recuperação, como por exemplo inundações e geadas.

E, mesmo após a conclusão atestada do projeto, o proprietário da área tem por obrigatoriedade de zelar pelo ecossistema agora recuperado para que não haja degradação novamente e que os fatores de perturbação não ponham a área em risco novamente.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Como o presente estudo trata-se da apresentação do método inovador RNM, esse capítulo consistirá, na apresentação do método, abordando as principais observações da metodologia relacionadas à área de engenharia civil.

### 4.1 INTRODUÇÃO DO MÉTODO RNM

O método de restauração de nascentes RNM foi desenvolvido de maneira empírica pelo José dos Santos de Moraes. Esse método foi apresentado ao professor Hélio Ricardo, que, ao tomar conhecimento, iniciou um estudo junto ao professor Artur Pantoja desenvolvendo uma planilha suporte que foi essencial para melhor compreensão do método e está presente neste trabalho, que ambos atuam como coorientador e orientador, respectivamente.

José dos Santos de Moraes realizou o método RNM de forma empírica durante a maior parte da sua vida profissional, onde atuou principalmente no município de Floreal, interior de São Paulo, local onde essa metodologia é bastante conhecida e há vários casos de sucesso. Dessa forma, como suportes metodológicos foram utilizados: um artigo escrito por ele e por Nelson Cardoso apresentado no Congresso Nacional de Águas Subterrâneas em 2004.

E, por fim, houve alguns acompanhamentos durante a realização dessa técnica durante o ano de 2019 onde foram levantados alguns registros e observações que serão expostos no decorrer desse capítulo.

### 4.2 ETAPAS DO RNM

Segundo Cardoso e Moraes (2004), a metodologia RNM para a recuperação de nascentes é dividida em quatro fases: Primeiro, há a observação sistematizada das características específicas do terreno como o clima, solos, geologia, geomorfologia, recursos hídricos, vegetação, fauna. Após isso, na segunda etapa, há o que foi denominado como “diagnóstico integrado”, em que há a apresentação das oportunidades e das ameaças existentes, além de apresentar a importância da recuperação na área analisada.

Na terceira etapa, há o desenvolvimento do planejamento estratégico em que há o envio da proposta de zoneamento com as ações e o registro e avaliação das soluções. Sendo o zoneamento uma divisão de áreas em porções homogêneas

devido as suas características ecológicas e fisiografias. Por fim, a quarta e última etapa há o que foi nomeado de programa de manejo, em que é a definição das atividades que serão desenvolvidas para cada zona e, também há o estabelecimento de normas e diretrizes para o desenvolvimento do projeto. (CARDOSO; MORAES, 2004)

### 4.3 METODOLOGIA RNM

#### 4.3.1 A Recomposição Vegetal no Corpo da Nascente

Nesse método também se utiliza a recomposição da mata ciliar da nascente, no entanto, nesse presente estudo é apenas uma das etapas do projeto. Nessa etapa é proposta a plantação ou replantação de espécies nativas ou espécies adaptáveis que serão adequadas conforme os seus termos e limites. Cardoso e Moraes descrevem em sua metodologia que priorizam por espécies que atuaram na conservação do lençol e que sejam frutíferas para o uso da fauna. (CARDOSO; MORAES, 2004)

No quadro 1 encontram-se os materiais e equipamentos que são utilizados na preparação do solo, e no quadro 2, os materiais e equipamentos necessários para a plantação das mudas. A coluna do coeficiente e a coluna da unidade foram estabelecidas para a área determinada de um raio de 50 metros para cada nascente. (Brasil, 2012)

Quadro 1 - Materiais e Equipamentos para a preparação do solo

<b>Preparação do Solo</b>		
<b>MATERIAL</b>	<b>UNID.</b>	<b>COEF.</b>
Formicida	kg	1,00
<b>EQUIPAMENTOS</b>	<b>UNID.</b>	<b>COEF.</b>
Enxada	dia	1,00
Enxada	dia	1,00
Trena 50m	dia	1,00
Trator Roçadeira c/ operador	dia	0,50

Fonte: Marques e Silva, 2014

Quadro 2 - Materiais e Equipamentos para a plantação das mudas

<b>Plantação das Mudas</b>		
<b>MATERIAL</b>	<b>UNID.</b>	<b>COEF.</b>
Mudas Nativas	unid	850,00
Adubo	sc	1,00
<b>EQUIPAMENTOS</b>	<b>UNID.</b>	<b>COEF.</b>
Enxada	dia	2,00
Enxada	dia	2,00

Fonte: Marques e Silva, 2014

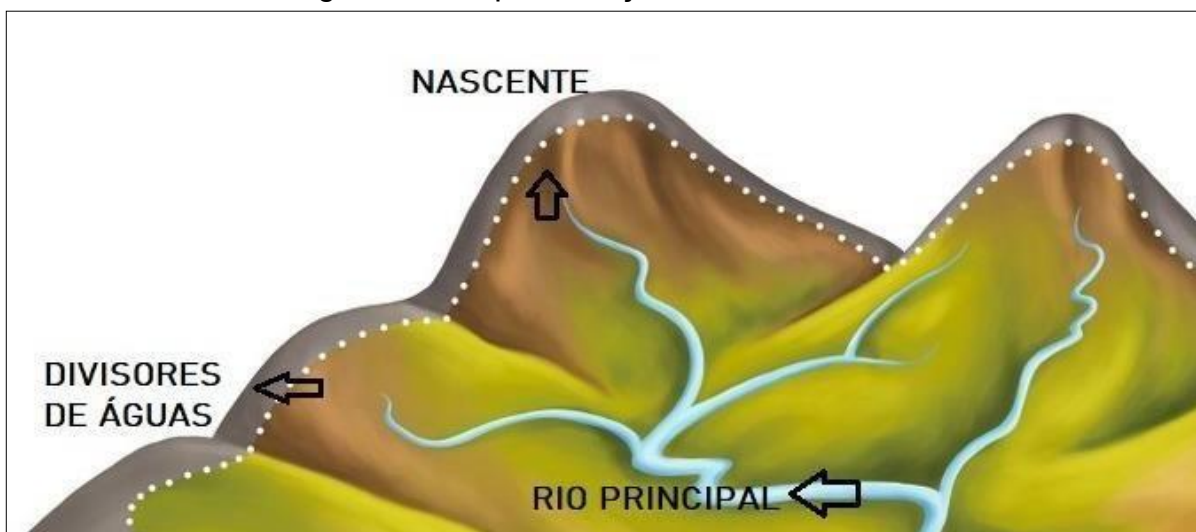
Nota-se que nos materiais também há materiais para controle dos fatores de perturbação como o formicida e herbicida e que os demais materiais e equipamentos são os materiais básicos utilizados para esse tipo de serviço em si.

#### 4.3.2 A Recomposição Hidráulica da Nascente

O diferencial do método RNM está nessa etapa exclusiva chamada de recomposição hidráulica, pois ela é fundamental para acelerar o processo de recuperação da nascente e até suportar o crescimento das mudas plantadas na recomposição da vegetação das matas ciliares, pois ao realizar essa intervenção, haverá o retorno mais rápido da água percorrendo pela área, suportando o crescimento da vegetação e estabelecendo o clímax.

Na figura 23 há uma representação aérea de uma nascente que abastece o curso d'água em condições normais. Em que há a nascente, o exato local onde há o afloramento do lençol freático na superfície, há a representação dos divisores de água, que são as ramificações secundárias e a representação do rio principal.

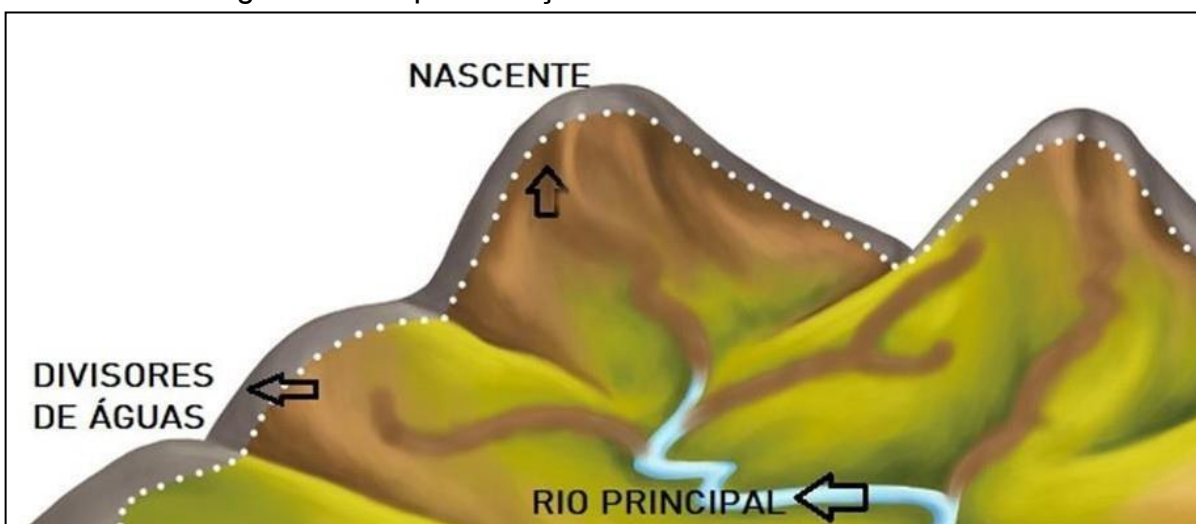
Figura 23 - Representação de uma Nascente



Fonte: Mendonça, 2021

Quando uma nascente se encontra assoreada, o volume de água em seu afloramento diminui e pode até deixar de existir, afetando as suas ramificações e também o rio principal. Na figura 24, há uma representação de um estado assoreado agravado para a mesma representação da figura 23.

Figura 24 - Representação de uma Nascente Assoreada



Fonte: Mendonça, 2021 (Editada pela autora)

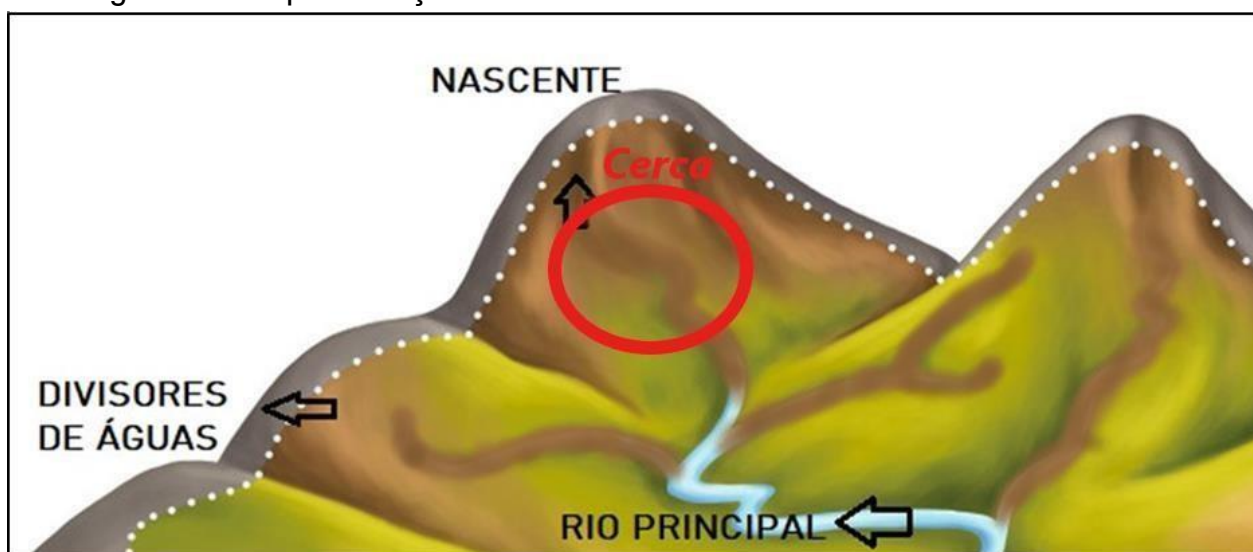
O método RNM trata todas as regiões mostradas nas representações 23 e 24, desde o afloramento da nascente até o curso d'água, com o objetivo de tornar a reverter a situação apresentada na figura 24, novamente para a figura 23.

Para isso, uma das intervenções necessárias é a implantação de uma cerca para dificultar o acesso dos fatores de perturbação como gados e outros animais silvestres na área em que será tratada e principalmente na área em que se encontra

em estado mais vulnerável, que é no local exato onde há o afloramento da nascente. (CARDOSO; MORAES, 2004)

Seguindo as representações das imagens anteriores, foi feita uma representação na figura 25 com uma linha vermelha, mostrando uma sugestão de restrição de área para seguindo a ideia da metodologia, em que se abrange a parte mais importante e vulnerável do corpo da nascente, sendo necessária a delimitação por cerca.

Figura 24 - Representação de Cerca na área mais vulnerável da nascente



Fonte: Mendonça, 2021 (Editada pela autora)

Segundo Cardoso e Moraes (2004), a segunda intervenção realizada é descrita como se fosse uma ação no que seria o coração da nascente. Ou seja, é um tratamento que ocorre no local exato onde há o afloramento de água do lençol freático. Realizando um processo preciso e minucioso de despoluição, descontaminação e desassoreamento, que seria um corte preciso no local fazendo com que haja o ressurgimento da água e a retirada de todo o lixo, terra considerada contaminada, caso haja, e a limpeza de pedras e rochas que também contemplam a nascente. Esse processo é feito em todas as minas d'águas existentes na área selecionada.

Após isso, nas ramificações que surgem a partir do afloramento da nascente serão introduzidos canos em que, segundo Cardoso e Moraes (2004), são "canos oxigenadores e captadores de hidro cinética." No entanto, no estudo realizado pelos professores Artur Pantoja Marques e Hélio Ricardo Silva entende-se que trata de tubos e conexões de material PVC por exemplo, conforme consta no quadro 3. No entanto, em alguns casos há a utilização de outros tipos de materiais para canos que suportem melhor o projeto variando da região. Esses tubos serão cobertos por lona, pedra e areias, que são materiais que não se deterioram facilmente e não afetam a qualidade da água.

Quadro 3 - Materiais e Equipamentos da Recuperação Hídrica

<b>Recuperação Hídrica</b>		
<b>Material</b>	<b>UNID.</b>	<b>COEF.</b>
Campo		
Pedra Brita n.1	m3	2,00
Pedra Brita n.3	m3	6,00
Lona Plástica	m	10,00
Tubo de PVC 50mm	m	100,00
Conexões PVC 50mm	un.	2,00
Grama	m2	50,00
<b>EQUIPAMENTOS</b>	<b>UNID.</b>	<b>COEF.</b>
Enxada	dia	5,00
Enxada	dia	5,00
Trena 50m	dia	5,00
Retroescavadeira c/ operador	dia	0,50

Fonte: Marques e Silva, 2014

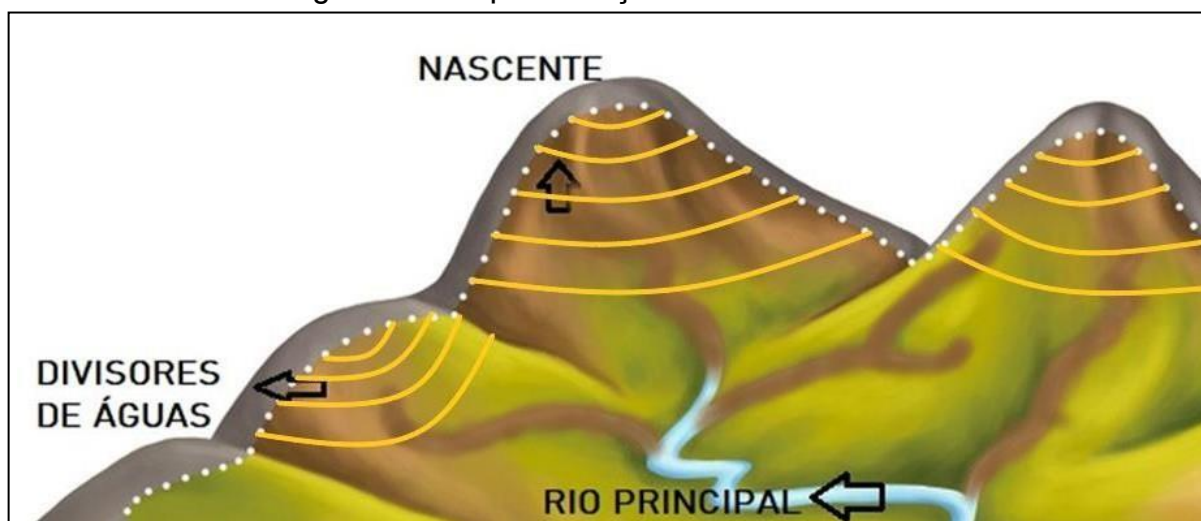
As tubulações ficarão submersas e ocultas pelo revestimento de pedras até chegar ao local destinado, que pode ser o curso d'água principal ou o local elegido pelo proprietário da terra. (CARDOSO; MORAES, 2004)

Por fim, toda a área que foi cercada como sendo a área principal e mais vulnerável será gramada e haverá o plantio de árvores para restabelecer a vegetação conforme foi mencionado no tópico anterior.

#### 4.3.3 As Curvas de Nível

Nas visitas em campo, em alguns casos específicos, observou-se a utilização de curvas de nível (terraço) com a intenção de criar um controle do escoamento superficial e conseqüentemente a redução da erosão do solo. A figura 25 representa uma sugestão de curvas de nível com base na metodologia RNM.

Figura 25 - Representação de Curvas de Nível



Fonte: Mendonça, 2021 (Editada pela autora)

No entanto, as curvas de nível só são executadas onde é possível adicioná-las, dependendo do tipo de solo e quantidades de rochas presentes no terreno.

#### 4.3.4 A Manutenção do Projeto

Segundo Marques e Silva (2014), as mudas necessitam de um acompanhamento mensal por dois anos e, após esse prazo, não é mais necessária intervenção. No quadro 4 encontra-se os materiais e equipamentos necessários para a realização da manutenção. A coluna de coeficiente representa a quantidade de equipamentos/materiais por dia de manutenção.

Quadro 4 - Materiais e Equipamentos para a manutenção das mudas

Manutenção das Mudanças		
MATERIAL	UNID.	COEF.
Formicida	kg	2,00
Adubo	sc	1,00
EQUIPAMENTOS	UNID.	COEF.
Enxada	Mês	1,00
Tesoura	Mês	0,30
Serrote	Mês	0,30
Trator Tanque Pipa c/ Operador	dia	0,30

Fonte: Marques e Silva, 2014

#### 4.4 DISPOSIÇÕES GERAIS DO MÉTODO RNM

Durante o ano de 2019, realizaram-se visitas realizadas em campo a fim de analisar a execução desse método. Na figura 26 é possível ver como funcionaria o corte e a limpeza mencionada no local de afloração do lençol.

Figura 26 - Corte e Limpeza da área



Fonte: Elaboração da própria autora, 2019

Na figura 27 foi uma visita de um trabalho realizado há um tempo em que é possível ver o final da tubulação alimentando uma represa. Ou seja, a tubulação que parte do afloramento da nascente seguiu até o local desejado pelo proprietário, que seria o abastecimento de uma represa.

Figura 27 - Tubulação final alimentando uma represa



Fonte: Elaboração da própria autora, 2019

Na figura 28 é possível ver o curso derivado da nascente já dentro da tubulação e na figura 29 é possível ver a mesma situação, mas já coberta por pedras.

Figura 28 - Curso dentro da tubulação



Fonte: Cardoso e Moraes, 2004

Figura 29 - Obra Concluída Revestida por Pedras



Fonte: Cardoso e Moraes, 2004

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A recuperação de nascente proposta pela legislação do estado de São Paulo aborda como metodologia de recuperação de nascentes apenas a recomposição da vegetação em áreas que estão degradadas e com assoreamentos. Ou seja, não há nenhuma sugestão ou metodologia relacionada a alguma forma de intervenção hídrica e até a realização de curvas de nível. Enquanto, no trabalho desenvolvido por Cardoso e Moraes, a restauração de áreas degradadas com a plantação de mudas nativas é apenas uma etapa, apresentando também uma etapa dedicada apenas para a intervenção hídrica no curso d'água onde se encontram as nascentes, e caso seja possível, a realização de curvas de nível pelo terreno.

O principal intuito da fase de restabelecer a vegetação do solo é a de que, quando a vegetação do local já se encontrar estabilizada, será possível encontrar uma maior interceptação das plantas, bem assim como a vegetação rasteira que haverá se desenvolvido, e essa interceptação irá reduzir a quantidade de água que iria toda para o escoamento superficial quando a área estava toda descoberta. Além de que, as raízes das plantas e as gramíneas irão reduzir a velocidade do escoamento e reterão com mais facilidade partes importantes do solo.

Ao reduzir o escoamento superficial, por meio da interceptação e pelo aumento da infiltração, haverá uma redução do arraste de pedregulhos do solo e conseqüentemente redução da erosão. Dessa forma, não haverá mais a deposição de sedimentos em excesso que causam o assoreamento. E, com a vegetação restituída nos arredores do curso d'água, os barrancos voltarão a ter o suporte das raízes das plantas, e será mais difícil essa área ceder com a precipitação e depositar sedimentos no curso d'água.

Outro fator relevante é que, com as plantas estabilizadas, suas raízes irão atuar na porosidade e na restituição da permeabilização do solo, fazendo com que haja um aumento da infiltração e percolação da água no solo. Esse fator, também reduzirá o escoamento superficial, e aumentará novamente a recarga dos aquíferos.

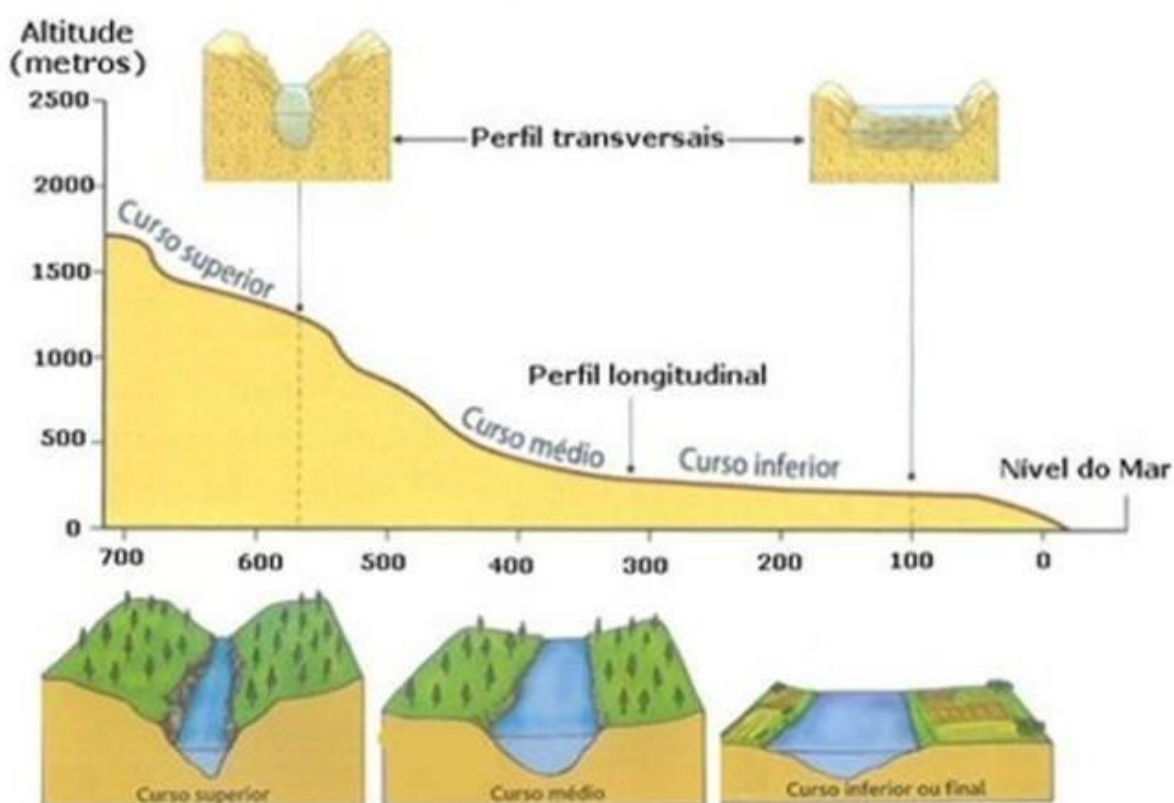
A recuperação da área por meio da restituição da vegetação é um trabalho muito significativo para a restauração do ciclo hidrológico, e conseqüentemente de todo o ecossistema do local. No entanto, para que isso ocorra, a própria normativa estipula o prazo de 20 anos, pois é necessário que as árvores atinjam sua estabilidade para que os processos do ambiente atinjam seu clímax.

No método RNM, há a atuação que foi nomeada como intervenção hídrica, em que, há a descrição de que é realizado um corte onde existe o afloramento d'água na superfície e a limpeza do local. Considerando que, a nascente se encontrava assoreada e com obstrução devido à deposição de pedregulhos de erosões e, conseqüentemente, atuando de forma reduzida, ao cortar esse local e

retirar esse excesso de pedregulho, imediatamente irá fornecer um suporte para a água voltar a cursar sem poluição e com uma maior força.

Além disso, uma das consequências do assoreamento é o aumento da área de escoamento. Pois, devido à deposição de sedimentos, há a alteração do percurso natural da água, e conseqüentemente o aumento da superfície de escoamento: com o aumento da deposição de sedimentos no fundo do rio, a água tende a subir para repor o volume, que agora é ocupado por sedimentos. Na figura 30, tem-se o comportamento de um vale fluvial, que mostra que a distância entre os dois lados do rio aumenta conforme se aproxima da superfície.

Figura 30 - Perfil transversal de um rio



Fonte: Silva, 2014

Ao haver esse aumento de área de escoamento, devido a água estar subindo, por seu fundo estar tomado de sedimentos, haverá uma redução da velocidade. E essa análise pode ser justificada por meio da equação da continuidade, pois quanto maior a área, menor a velocidade. E, o aumento dessa área talvez seja tal que a água pare antes de chegar ao curso d'água principal. Formando várias poças d'água. O cenário de assoreamento bastante conhecido. Na figura 31, há uma representação do canal tomado por sedimentos e poças d'água paradas.

Figura 31- Canal D'água Assoreado



Fonte: Ribeiro, 2021

Assim, ao sugerir a canalização da água nas ramificações que saem dos afloramentos da água, um dos objetivos é garantir a continuidade da velocidade do curso por uma mesma área até chegar ao destino desejado.

Outro benefício da canalização realizada nas ramificações, é que, ao invés de esperar o crescimento da vegetação ciliar para reduzir a erosão e a deposição de resíduos no curso, a própria canalização impede imediatamente a entrada dos resíduos em excesso no curso protegendo-o de novos assoreamentos até que a vegetação consiga fazer isso por si só.

Por fim, quando possível devido a características do terreno e quantidade de rochas, há a utilização de curvas de nível por todo o terreno, na intenção de reduzir os da precipitação enquanto a área não se encontra com a vegetação necessária para isso, e segundo Biauzussi et al., (2020), a ausência de curvas de nível em uma área sem vegetação em causa uma má distribuição das águas das chuvas ocasionado a erosão localizada e laminar, assoreando os rios e lagos destruindo a microfauna e microflora dos rios e além de destruir a vida no solo.

Todas essas análises mostram como o método RNM apresenta intervenções inovadoras para a recuperação da nascente e que atuam de forma efetiva e inteligente contra a erosão e assoreamento de áreas degradadas. O último ponto a ser observado é que, dentro dos métodos estipulados pela legislação, há a exigência

de um acompanhamento por 20 anos do projeto, enquanto o método RNM exige um acompanhamento de 2 anos apenas para garantir que a vegetação já foi estabelecida.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A intervenção hídrica, e quando possível, a execução de curvas de nível no terreno proposta pelo método RNM possuem justificativa científica válida e podem trazer uma recuperação de nascentes e áreas degradadas com um tempo menor de espera do que com os métodos utilizados atualmente.

Dessa forma, o presente estudo encontra-se com o seu objetivo concluído e como sugestão a realização de alguns estudos de caso da implementação do método para a sua padronização e implementação na normativa de recuperação de nascentes.

## REFERÊNCIAS

AGENDA 2030 PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2015, Nova York. Nova York: Cede da ONU, 2015. Disponível em: [http://www.agenda2030.com.br/os\\_ods/](http://www.agenda2030.com.br/os_ods/). Acesso em: 9 set. 2021.

BIAZUSSI, A.; *et al.* In: I CONGRESSO ONLINE INTERNACIONAL DE SEMENTE CRIOULAS E BIODIVERSIDADE. 2020. Disponível em: <http://cadernos.abagroecologia.org.br/index.php/cadernos/article/view/6464/4664>. Acesso em: 11 set. 2021

Bicycle Web. Continuity Equation. 2007. Disponível em: [https://www.princeton.edu/~asmits/Bicycle\\_web/continuity.html](https://www.princeton.edu/~asmits/Bicycle_web/continuity.html). Acesso em: 10 set. 2021.

BOTELHO, S. A. MÉTODOS SILVICULTURAIS PARA RECUPERAÇÃO DE NASCENTES E RECOMPOSIÇÃO DE MATAS CILIARES. 2015. Disponível em [https://www.researchgate.net/profile/Soraya-Botelho/publication/242672925\\_METODOS\\_SILVICULTURAIS\\_PARA\\_RECUPERAÇÃO\\_DE\\_NASCENTES\\_E\\_RECOMPOSIÇÃO\\_DE\\_MATAS\\_CILIARES/links/55ba18fb08aed621de0ab2a6/METODOS-SILVICULTURAIS-PARA-RECUPERACAO-DE-NASCENTES-E-RECOMPOSIÇÃO-DE-MATAS-CILIARES.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Soraya-Botelho/publication/242672925_METODOS_SILVICULTURAIS_PARA_RECUPERAÇÃO_DE_NASCENTES_E_RECOMPOSIÇÃO_DE_MATAS_CILIARES/links/55ba18fb08aed621de0ab2a6/METODOS-SILVICULTURAIS-PARA-RECUPERACAO-DE-NASCENTES-E-RECOMPOSIÇÃO-DE-MATAS-CILIARES.pdf). Acesso em: 11 set. 2021.

BORMA, L. S; RENNÓ, C. D. Infiltração e movimento da água no solo Parte 1. 2017. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/~camilo/prochidr/pdf/02infiltracao\\_aguanosolo\\_1.pdf](http://www.dpi.inpe.br/~camilo/prochidr/pdf/02infiltracao_aguanosolo_1.pdf). Acesso em: 12 set. 2021

BRANDÃO, M. Esquema Ilustrativo de Sucessão Ecológica. Wikipédia. 2011. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Sucess%C3%A3o\\_ecol%C3%B3gica#/media/Ficheiro:Sucess%C3%A3oecol%C3%B3gica.jpeg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Sucess%C3%A3o_ecol%C3%B3gica#/media/Ficheiro:Sucess%C3%A3oecol%C3%B3gica.jpeg). Acesso em: 11 set. 2021.

BRASIL. Constituição [1988]. Art 225, de 5 de out de 1988. Disponível em: [https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/con1988\\_05.10.1988/art\\_225\\_.a](https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/con1988_05.10.1988/art_225_.a) sp. Acesso em: 9 set. 2021.

BRASIL. LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm). Acesso em: 9 set. 2021.

Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "Conservation Law". Encyclopedia. 2021. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/conservation-law>. Acesso em: 10 set. 2021.

CARDOSO, N.; MORAES, J. S. RESTAURAÇÃO DE NASCENTES. In: SUPLEMENTO - Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2004. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23620>. Acesso em: 11 set. 2021

CARVALHO, D.F.; SILVA, L. D. B. Hidrologia. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap5-INF.pdf>. Acesso em: 10 set. 2021.

CORDERO, A. Apostila de Hidrologia Aplicada. Blumenau: Universidade Regional de Blumenau, 2013.

CLEARY, R.M. Águas Subterrâneas. Princeton Groundwater, Inc. Clean Environment Brasil, Produtos e Tecnologias para o Meio Ambiente. 2007. Disponível em: [https://www.clean.com.br/Menu\\_Artigos/cleary.pdf](https://www.clean.com.br/Menu_Artigos/cleary.pdf). Acesso em: 09 set. 2021.

DYNAPAC FAYAT GROUP. Como funcionam os testes de densidade, testes de sustentação e outros métodos de controle das especificações do solo em campo. 2017. Disponível em: <http://dynapac.blog/manual-de-compactacao-pavimentacao-e-fresagem/como-funcionam-os-testes-de-densidade-testes-de-sustentacao-e-outros-metodos-de-controle-das-especificacoes-do-solo-em-campo/?lang=pb>. Acesso em: 10 set. 2021.

FERREIRA, R. Conheça os diferentes tipos de água. 2017. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/2017/03/2008>. Acesso em: 9 set. 2021.

LUIZ, J. S. CARACTERIZAÇÃO DAS NASCENTES E ECOSSISTEMAS DEPENDENTES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Estudo de caso no Município de Analândia-SP. 2019. Estudo de Caso. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Junio-Da-Silva-Luiz>. Acesso em: 10 set. 2021.

GERBELLI, L. G. Crise hídrica se agrava e vira mais um entrave para o crescimento da economia brasileira. G1. 2021. Disponível em:

<https://g1.globo.com/economia/crise-da-agua/noticia/2021/09/01/ crise-hidrica-se-agrava-e-vira-mais-um-entrave-para-o-crescimento-da-economia-brasileira.ghtml>. Acesso em: 9 set. 2021.

GUERRA, A.J.T.; JORGE, M.C.O. Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas. São Paulo: Oficina de texto, 2014. Disponível em: [http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/processos%20erosivos\\_DEG.pdf](http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/processos%20erosivos_DEG.pdf). Acesso em: 10 set. 2021.

MARQUES, A.P.; SILVA, H.R. **Planilhas de composição de preço de serviço de recuperação de nascentes RNM**. Ilha Solteira: UNESP FEIS, 2014.

MARTÍN, M. Falta de água em São Paulo já afeta mais de 15,6 milhões de pessoas. EL PAÍS. 2014. Disponível em: [https://brasil.elpais.com/brasil/2014/10/20/politica/1413819621\\_097916.html](https://brasil.elpais.com/brasil/2014/10/20/politica/1413819621_097916.html). Acesso em: 9 set. 2021.

MENDONÇA, G. H. Bacia Hidrográfica. Mundo educação. 2021. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/bacia-hidrografica.htm>. Acesso em: 11 set. 2021.

MENDONÇA, L. A. R., *et al.* Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/BkVbkrmbPCvsbcCLgZZsHJB/?lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2021.

MIRANDA, J. C. SUCESSÃO ECOLÓGICA: CONCEITOS, MODELOS E PERSPECTIVAS. 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Jean-Miranda-2/publication/279410961\\_SUCESSAO\\_ECOLOGICA\\_CONCEITOS\\_MODELOS\\_E\\_PERSPECTIVAS/links/57c69f2b08ae28c01d4e769d/SUCESSAO-ECOLOGICA-CONCEITOS-MODELOS-E-PERSPECTIVAS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jean-Miranda-2/publication/279410961_SUCESSAO_ECOLOGICA_CONCEITOS_MODELOS_E_PERSPECTIVAS/links/57c69f2b08ae28c01d4e769d/SUCESSAO-ECOLOGICA-CONCEITOS-MODELOS-E-PERSPECTIVAS.pdf). Acesso em: 11 set. 2021.

MORAES, MICHELLY. A Compactação do Solo Agrícola: Descubra sobre o Assunto!. 2020. Disponível em: <https://agropos.com.br/compactacao-do-solo/> Acesso em: 10 set. 2021.

NASA. Estados Unidos: A Multi-Phased Journey. 2010. Disponível: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/Water/page2.php>. Acesso em: 10 set. 2021.

NATIONAL WEATHER SERVICE. Estados Unidos: The Hydrologi Cycle, 2019. Disponível em: <https://www.weather.gov/jetstream/hydro>. Acesso em: 10 set. 2021.

PEDRON, F. A, *et al.* Solos Urbanos. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/LV4s9XfSnSL7wB5XVFJs4HF/?lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2021.

PENA, R. F. Alves. "Assoreamento de rios"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/assoreamento-rios.htm>. Acesso em: 10 set. 2021.

RIBEIRO, A. O que é assoreamento?; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/geografia/o-que-e-assoreamento.htm>. Acesso em: 11 set. 2021.

RITTER, J. P. Soil Erosion Causes and Effects. 2012. Disponível em: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/12-053.htm>. Acesso em: 10 set. 2021.

ROSA, A., Carvalho, R.S., Xavier, J.A.D.: Engenharia de Reservatórios de Petróleo. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2006.

SÃO PAULO (estado). Decreto n 60.521, 05 de junho de 2014. **Lex:** Programa Nascentes, São Paulo, 2014A. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/programanascentes/> . Acesso em: 9 set. 2021.

SÃO PAULO (estado). RESOLUÇÃO SMA Nº 32, DE 03 DE ABRIL DE 2014. 2014B. Disponível em: <https://smastr16.blob.core.windows.net/legislacao/2016/12/Resolu%C3%A7%C3%A3o-SMA-032-2014-a.pdf>. Acesso em: 9 set. 2021.

SILVA, M. M. O Perfil Longitudinal e Transversal de um Rio. 2014. Disponível em: <https://blogeos3s.blogspot.com/2014/05/o-perfil-transversal-e-longitudinal-de.html>. Acesso em: 11 set. 2021.

SILVA JÚNIOR, J. S. Equação da continuidade; Brasil Escola. 2021. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/equacao-continuidade.htm>. Acesso em 10 set. de 2021.

SOUZA, R. O Solo e as suas funções. Instituto Federal Pernambuco. 2015. Disponível em: <https://www.slideshare.net/RomuloViniciusTioRominho/aula-01-solosfunes>. Acesso em: 10 set. 2021.

TADEU, N. O SISTEMA CANTAREIRA E A CRISE DA ÁGUA EM SÃO PAULO. 2016. Disponível em: <https://artigo19.org/wp-content/blogs.dir/24/files/2016/06/Sistema-Cantareira-e-a-Crise-da-%C3%81gua-em-S%C3%A3o-Paulo-2.pdf>. Acesso em: 9 set. 2021.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: Mcgraw Hill, 1975.

Wikipédia. 2015. Lixo e assoreamento no Ribeirão Caladinho entre os bairros Aparecida do Norte e Morada do Vale, em Coronel Fabriciano, Minas Gerais, Brasil. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Assoreamento#/media/Ficheiro:Lixo\\_e\\_assoreamento\\_no\\_Ribeir%C3%A3o\\_Caladinho\\_entre\\_os\\_bairros\\_Aparecida\\_do\\_Norte\\_e\\_Morada\\_do\\_Vale,\\_Coronel\\_Fabriciano\\_MG.JPG](https://pt.wikipedia.org/wiki/Assoreamento#/media/Ficheiro:Lixo_e_assoreamento_no_Ribeir%C3%A3o_Caladinho_entre_os_bairros_Aparecida_do_Norte_e_Morada_do_Vale,_Coronel_Fabriciano_MG.JPG). Acesso em: 11 set. 2021.

