

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA SOB  
COBERTURA DE FLORESTA SECUNDÁRIA INICIAL E  
HERBÁCEA-ARBUSTIVA: *subsídios a compreensão dos mecanismos*  
*deflagradores dos movimentos gravitacionais de massa, Nova Friburgo/RJ*

**Ilgner Pereira Bernardo**

RIO DE JANEIRO

2022



**VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA  
SOB COBERTURA DE FLORESTA SECUNDÁRIA INICIAL E  
HERBÁCEA-ARBUSTIVA: *SUBSÍDIOS A COMPREENSÃO DOS  
MECANISMOS DEFLAGRADORES DOS MOVIMENTOS  
GRAVITACIONAIS DE MASSA, NOVA FRIBURGO/RJ***

**Ilgner Pereira Bernardo**

Monografia apresentada ao Departamento de Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito à obtenção do título de licenciado em Geografia.

Orientadora: Ana Luiza Coelho Netto

Rio de Janeiro  
2022

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a minha família, em especial a minha mãe, que é amiga, é confidente e é parceira, é a base que me sustenta. Ao meu pai, por toda ajuda que me deu e ainda me dá para permanecer no Rio, correndo atrás dos meus sonhos e me apoiando na trajetória. Aos meus irmãos, que sempre demonstraram muito amor por mim e sempre me receberam de braços abertos ao retornar para casa, com o peito cheio de amor e de saudades.

Agradeço a minha orientadora, Ana Luiza Coelho Netto, pela eterna paciência em me receber, desde o primeiro dia em que me acolheu quando bati na porta do laboratório para conhecer seu trabalho. Obrigado por todo encantamento e fascínio que promoveu em mim pela paisagem geomorfológica. Obrigado por contribuir no desenvolvimento de um óculos para enxergar as transformações da paisagem. Isso mudou minha visão de mundo.

Não poderiam faltar agradecimentos a Roberta Pereira da Silva e Ana Carolina Faccadio Campello. Além de co-orientadoras, foram sobretudo amigas para tempos de alegria e tempos difíceis. Obrigado por serem apoio em campos perrengues (e que não faltaram), por compartilharem ideias e contribuírem no meu desenvolvimento. Joana Stingel Fraga, minha inspiradora pessoal e profissional, obrigado por ter me puxado para florestas; aprendi não só sobre raízes, vegetação, e hidrologia, mas também aprendi a observar passarinhos na Mata Atlântica e a desenvolver uma paixão por eles.

As minhas amigas de laboratório, Leticia Bolsas Mendonça, Karine Coutinho e Joana Gusmão por toda ajuda durante a caminhada. Compartilhamos inúmeros momentos especiais e construímos muita coisa boa!

Aos meus amigos de vida e de coração, Mariana, Igor, Isabela, Julia, Livia e Danilo. Sem vocês essa caminhada não teria sido possível. Agradeço do fundo do meu coração todas as vezes que mandava áudios imensos, textão no Whats App e vocês sempre estavam lá para me dar uma palavra de conforto.

Por fim, agradeço ao CNPQ pela bolsa concedida durante meu período de estudo para o desenvolvimento dos trabalhos.

## RESUMO

O evento extremo de chuvas de Janeiro de 2011 ocasionou a deflagração de mais de 3.600 deslizamentos em uma área de 421km<sup>2</sup> - majoritariamente incluída no município de Nova Friburgo- os quais, a partir de análises de uso e cobertura do evento, revelaram que 64% ocorreram em encostas recobertas por vegetação florestal e 24,7% foram em áreas de gramíneas. O presente estudo buscou analisar o comportamento da condutividade hidráulica saturada sob cobertura vegetal de gramínea e de floresta secundária. A hipótese investigada é de que as coberturas controlam de modo diferenciado a transmissão de água no perfil do solo, e que por sua vez podem influenciar na deflagração de movimentos de massa. Foram realizados 30 ensaios na encosta recoberta por floresta e 25 na área de gramínea nas profundidades de 20cm, 50cm, 100cm, 120cm e 150cm, com o auxílio de um Permeâmetro de Carga Constante (Amozeegar, 1968a). Os resultados demonstraram que ambas as coberturas possuem maior permeabilidade na superfície do solo, decrescendo em profundidade. Na floresta foi observada uma camada de baixa permeabilidade a 100cm, profundidade terminal do sistema radicular da vegetação que conduz a água por seus tecidos, através de um sistema preferencial de percolação. Na gramínea houve grande variação dos dados, com a identificação de duas camadas menos permeáveis a 50cm e a 150cm. Os resultados encontrados ajudam a esclarecer o alto índice de deslizamentos em ambas coberturas vegetais, uma vez que contribuem para zonas saturadas suspensas através da diferença de permeabilidade entre as camadas do solo, que, em eventos de chuva extrema, podem conduzir a geração e propagação de deslizamentos.

## SUMÁRIO

<b><u>1</u></b>	<b><u>INTRODUÇÃO</u></b>	6
<b><u>2</u></b>	<b><u>OBJETIVOS</u></b>	8
	<u>2.1 GERAL</u>	8
	<u>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u>	8
<b><u>3</u></b>	<b><u>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u></b>	9
	<u>3.1 MOVIMENTAÇÃO DE ÁGUA EM ENCOSTAS ÍNGREMES SOB COBERTURA DE FLORESTA SECUNDÁRIA E GRAMÍNEA</u>	9
<b><u>4</u></b>	<b><u>ÁREA DE ESTUDO</u></b>	14
	<u>4.1 CARACTERÍSTICAS DE COBERTURA VEGETAL DA REGIÃO</u>	18
<b><u>5</u></b>	<b><u>MATERIAIS E MÉTODOS</u></b>	19
<b><u>6</u></b>	<b><u>RESULTADOS E DISCUSSÕES</u></b>	23
	<u>6.1 COMPORTAMENTO MÉDIO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SOB FLORESTA SECUNDÁRIA E GRAMÍNEA</u>	23
	<u>6.2 VARIAÇÃO ESPACIAL DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA SOB FLORESTA SECUNDÁRIA</u>	24
	<u>6.3 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA SOB GRAMÍNEA</u>	27
<b><u>7</u></b>	<b><u>CONSIDERAÇÕES FINAIS</u></b>	29

## 1 INTRODUÇÃO

A Serra do Mar é caracterizada pela recorrência de eventos de movimentos gravitacionais de massa, geralmente associados a estações chuvosas (GUIDICINI e IWASA, 1977; FERNANDES *et al.*, 2001), que atuam modelando as encostas íngremes. O caso mais recente está ligado ao episódio da Região Serrana do estado do Rio de Janeiro, ocorrido entre os dias 11 e 12 de Janeiro de 2011. Acumulados pluviométricos elevados e de alta intensidade associados as condições ambientais locais determinaram a distribuição espacial de milhares de cicatrizes de deslizamentos (Figura 1). De acordo com registros oficiais, este evento vitimou cerca de 1500 pessoas entre mortos e desaparecidos (MPRJ, 2013), deixando mais de 300 mil pessoas afetadas e danos econômicos em torno de 4,8 bilhões de reais (BANCO MUNDIAL, 2012).



Figura 1: A - Nova Friburgo na Região Serrana do Rio de Janeiro antes dos deslizamentos  
B - após os deslizamentos de Janeiro de 2011.

Os deslizamentos predominantes são do tipo translacional raso, deflagrados entre 1-3m de profundidade, de acordo com Avelar *et al.*, (2011). De acordo com esses autores, os fluxos detríticos observados no episódio apresentaram alto potencial destrutivo uma vez que se deslocaram pelos fundos de vales da região e originaram um rastro de destruição abarcando casas, sistemas de eletricidade e comunicação, pontes, estradas e sistemas de canalização de água para abastecimento popular.

Coelho Netto *et al.*, (2013) mapearam 3.622 cicatrizes de deslizamentos em uma área de  $421\text{km}^2$  (incluída majoritariamente no município de Nova Friburgo). Ao analisar as variáveis de terreno envolvidas nos casos de deslizamentos, o dado que mais chamou

a atenção esteve ligado a alta porcentagem de cicatrizes em coberturas do tipo florestal. A sobreposição do mapa de cicatrizes com o de uso e cobertura, produzido por Madureira et al. (2008) na escala de 1:100.000, evidenciou que 64% do total de casos de deslizamentos ocorrera em encostas recobertas por vegetação florestal e 24,7% foram em áreas de gramíneas.

Já em uma escala de análise de detalhe, na área laboratório da Bacia Hidrográfica do Córrego D'Antas (53 km<sup>2</sup>), a mais atingida do evento em questão, e assim, mais representativa para estudos, foi gerado por Coutinho (2015) um outro mapeamento da vegetação e das cicatrizes de deslizamentos na escala de 1:5.000. Os resultados apontaram a ocorrência de 244 deslizamentos nesta bacia, sendo 85% do tipo translacional raso, dos quais 56,42% ocorreram em encostas recobertas por florestas secundárias em estágios de sucessão pioneira e inicial; 15,20% em gramíneas e 12,02% em vegetação herbáceo-arbustiva.

Fraga et al. (2015) estudaram dois fragmentos florestais de 20 e 50 anos de idade em Nova Friburgo e evidenciaram que mesmo após 50 anos a floresta mais avançada apresentou um predomínio de árvores pioneiras e iniciais (70%). De acordo com os autores, essa característica da sucessão vegetal pode ser atribuída a atividades como a criação de clareiras, a intensidade do uso passado ou ainda do atual como a extração seletiva de madeira. Já Marques *et al.* (2018) analisaram a mesma floresta em torno de 25 anos e uma área adjacente coberta por gramíneas, para decodificar possíveis influências no comportamento da sucção em diferentes profundidades, visto como medida indireta da variação de umidade no solo. Os resultados deste estudo apontaram que a floresta responde rapidamente aos eventos de precipitação decrescendo rapidamente os valores de sucção, atingindo a saturação abaixo de um metro de profundidade. Por outro lado, nos períodos de estiagem, esses valores de sucção tendem a aumentar rapidamente podendo ultrapassar -110kPa. Na encosta coberta por gramíneas, por sua vez, a umidade tende a se manter elevada e com valores de sucção próximos a zero mesmo em períodos de estiagens, devido à redução de evapotranspiração por sua zona radicular rasa (em torno de 30 cm).

Visando compreender melhor o comportamento hidrológico nas encostas recobertas por vegetação herbácea-arbustiva e de floresta secundária, associadas com grande parte dos deslizamentos translacionais, este estudo buscou conhecer as variações da condutividade hidráulica saturada nos seus respectivos perfis de hipótese

investigada é de que essas coberturas vegetais influenciam a transmissão de água no perfil do solo por interferência, principalmente de suas respectivas zonas de raízes.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 GERAL**

Este trabalho apresenta como objetivo geral avaliar a variação de condutividade hidráulica saturada em perfis de solos recobertos por vegetação florestal secundária degradada e gramíneas, como subsidio ao entendimento da geração de deslizamentos translacionais em encostas íngremes montanhosas.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- i.** Avaliar comparativamente a condutividade hidráulica saturada sob cobertura de floresta secundária degradada e gramínea.
- ii.** Analisar as relações entre os valores de condutividade hidráulica saturada e as características físicas do solo (textura, porosidade e agregados).
- iii.** Analisar as relações entre os valores de condutividade hidráulica saturada e as características de raízes descritas por Marques *et al.* (2018).



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 MOVIMENTAÇÃO DE ÁGUA EM ENCOSTAS ÍNGREMES SOB COBERTURA DE FLORESTA SECUNDÁRIA E GRAMÍNEA

Para Greenway (1978) as vegetações influenciam de forma mecânica e hidrológica a estabilidade de encostas, gerando efeitos tanto benéficos quanto adversos, demonstrando a dualidade e complexidade de fatores envolvidos nesta relação. (Tabela 1)

Tabela 1. Efeitos da vegetação na estabilidade de encostas. Adaptado de Greenway (1987).

Influência	Mecanismos Hidrológicos
<b>Benéficos à estabilidade</b>	1. Folhagem intercepta precipitação, causando perdas por absorção e evaporação que reduzem a quantidade de água disponível para infiltração 2. Raízes extraem umidade do solo que é perdida para a atmosfera via transpiração, levando a uma diminuição da poro-pressão no solo.
<b>Adversos à estabilidade</b>	3. Raízes e troncos aumentam a rugosidade da superfície do solo e a permeabilidade, levando a um aumento da capacidade de infiltração. 4. Diminuição da umidade do solo pode acentuar rachaduras por dessecação do solo, resultando em aumento da capacidade de infiltração do solo.
Influência	Mecanismos Mecânicos
<b>Benéficos à estabilidade</b>	5. Raízes reforçam o solo, aumentando a resistência ao cisalhamento do solo. 6. As raízes podem ancorar em estratos firmes, promovendo suporte ao manto do solo superior através de reforço. 7. Raízes agregam partículas da superfície do solo, reduzindo a suscetibilidade à erosão.
<b>Adverso à Estabilidade</b>	8. Vegetação exposta ao vento transmite forças dinâmicas ao solo.
<b>Benéfico/Adverso à estabilidade</b>	9. Peso das árvores sobrecarrega a encosta, aumentando os componentes de força normal e gravitacional.

A interceptação é a fase do ciclo hidrológico (Imagem 2) na qual as vegetações são capazes de interceptar a água da chuva armazenando nas copas arbóreas e/ou arbustivas (Ac) de onde é perdida para a atmosfera por evapotranspiração (ET) durante e após as chuvas (COELHO NETTO, 2015). Essa influência tem sido considerada benéfica na estabilidade de encostas por diminuir a quantidade de água disponível para infiltração (PRANDINI *et al*, 1976; GREENWAY, 1978) que retarda a formação de poro-pressões positivas na matriz dos solos.

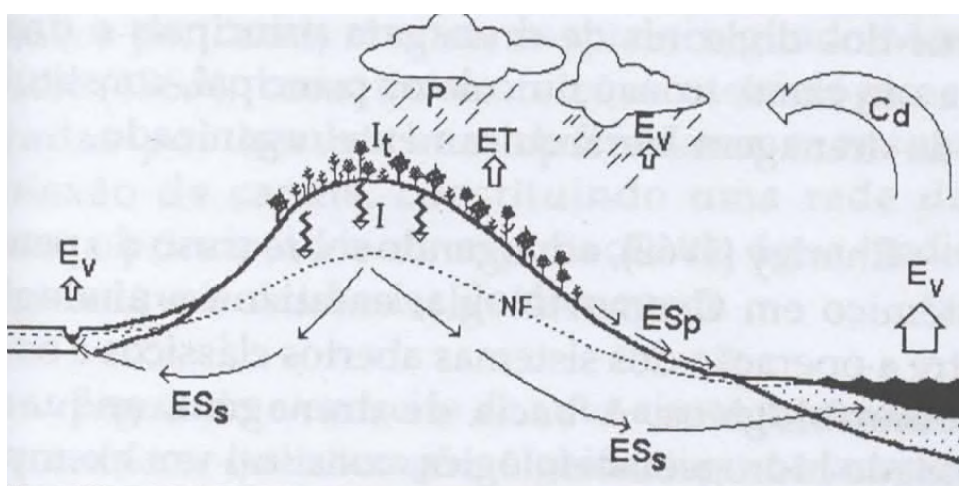


Figura 2: Movimentos e mudanças de estado de água no ciclo hidrológico: E<sub>v</sub>= Evaporação (oceanos, rios, lagos e durante a precipitação); ET= Evapotranspiração (solos e plantas); C<sub>d</sub>= Condensação do vapor e formação de nuvens; P= Precipitação; I<sub>t</sub>= Interceptação pela vegetação; I= Infiltração; ES<sub>p</sub>= Escoamento Superficial; ES<sub>s</sub>= Escoamento Subsuperficial ou Subterrâneo. (Extraído de Coelho Netto, 2015)

Após atingida a capacidade de armazenamento da vegetação a água das chuvas passa a compor a fase terrestre do ciclo hidrológico sob cobertura vegetal. Coelho Netto (1987) demonstrou que o piso florestal, quando bem estruturados nos horizontes O1 e O2, é capaz de produzir um escoamento intra-serrapilheira particularmente no interior da malha de raízes associada à camada O2 em diferentes estágios de decomposição (Figura 3). Esse fluxo de entrada da água no solo também é facilitado pela atividade escavadora da fauna endopendônica que cria macroporos, favorecendo a entrada e transmissão de água no solo, evitando sua perda por erosão decorrente do escoamento superficial do tipo hortoniano (Horton, 1933).

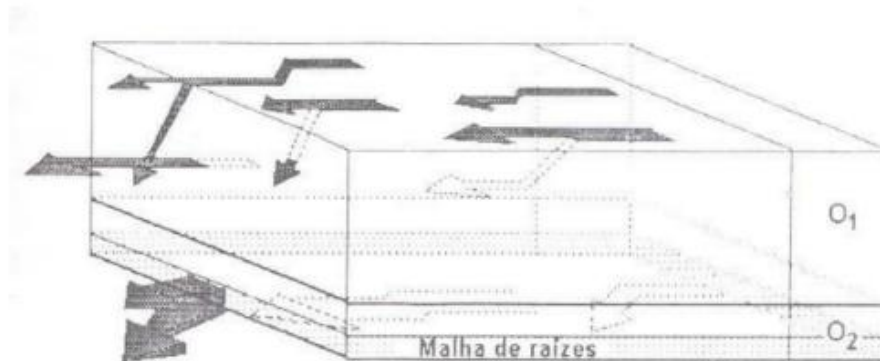


Figura 3: Mecanismos dos fluxos nos horizontes O1, O2 e na malha de raízes. Extraído de Coelho Netto (2015).

Se por um lado a descontinuidade dos tufo de gramíneas favorece o escoamento superficial hortoniano (Horton, 1933), sua produção tende a variar em função da umidade antecedente, ou seja, quando o solo apresenta um teor de umidade em torno de 35% (Deus, 1991). Por outro lado, Cambra (1998) ressalta que a concentração de raízes finas no topo do solo (em torno de 30 cm de profundidade) propicia maior condutividade hidráulica gerando, logo abaixo, uma descontinuidade na percolação vertical da água no solo.

A movimentação da água envolve três fases interdependentes: a entrada, estocagem e a transmissão de água no perfil do solo (COELHO NETTO, 2015). O solo possui uma capacidade máxima de absorção de água sob determinadas condições, que tende a diminuir durante a chuva até atingir um valor constante. Horton (1933, *apud* COELHO NETTO, 2015) denominou de capacidade de infiltração e sua variação ocorre devido a características da chuva, propriedades do solo, uso da terra e condições de cobertura vegetal (DUNNE e LEOPOLD, 1987). Procurando avaliar as diferenças de capacidade de infiltração de água sob diferentes coberturas vegetais, estudos conduzidos sob florestas secundárias têm demonstrado que estas coberturas apresentam maiores taxas de infiltração comparadas a áreas de gramíneas (ZIMMERMANN et al. 2006; HASSLER et al. 2011).

Jansen (2001) apontou em sua pesquisa conduzida através de simulação de chuva em solos homogêneos com presença de raízes que ocorre um aumento

significativo do fluxo vertical, cerca de 200%, devido à presença das raízes. Após infiltrar a água passa a se movimentar em subsuperfície de acordo com a sua condutividade hidráulica a qual, em condição de saturação atinge sua melhor capacidade de transmitir água sob valor constante. Essa variável hidrológica do solo, condutividade hidráulica saturada, representada usualmente por  $K_{sat}$  (mm|hr), é influenciada principalmente por características dos materiais do solo como tamanho das frações granulométricas, porosidade, densidade real e arranjo das partículas (HILLEL, 1998).

Diversos autores desenvolvem estudos em áreas tropicais com a finalidade de mensurar essa variável hidrológica do solo e buscar suas diferenças em relação as coberturas vegetais das encostas (Tabela 2).

Tabela 2: Estudos em área tropical sobre a variação de  $K_{sat}$  em encostas recobertas por floresta e gramínea.

Referência	Área	Cobertura Vegetal	Profundidades (cm)	Ksat (mm/h)	Equipamento
Zimmermann et al., (2006)	Amazônia/BR	Floresta Secundária	12,5	201	Amoozemeter
			20	42	
		Gramínea	12,5	26	
			20	9	
Zimmermann e Elsenbeer (2009)	Equador	Floresta	12,5	479	Amoozemeter
			20	55	
			50	7	
		Gramínea	12,5	3	
			20	2	
			50	11	
Salemi et al., (2013)	Ubatuba (SP)	Floresta	15	61	Amoozemeter
			30	11	
			50	2	
		Gramínea	15	22	
			30	6	
			50	0,4	
Zwartendijk et al., (2017)	Madagascar	Floresta	10	724	Infiltrômetro de duplo anel
			20	87	
			30	4,3	
		Gramínea	10	45	
			20	20	
			30	0,8	

É possível notar de acordo com os estudos apresentados que a  $K_{sat}$  segue uma tendência de diminuição em profundidade, independente da cobertura vegetal, devido ao aumento progressivo da densidade do solo. Silveira et al. (2005) em experimentos de campo na Floresta da Tijuca, utilizando o cloreto como traçador, demonstrou a percolação preferencial da água da chuva junto as raízes arbóreas, à frente do avanço da umidade na matriz do solo, confirmando os estudos experimentais em laboratório conduzidos anteriormente por Jansen (2001). Recentemente Zwartendijk *et al.* (2017) também utilizando corantes traçadores, observaram a predominância de rotas de transmissão de água ao longo das raízes e macroporos associados ao solo florestal, ao passo que na gramínea a percolação da água foi influenciada especialmente pelo seu sistema de raízes finas densamente concentradas até 15cm no solo (ZWARTENDIJK *et al.* 2017).

#### **4 ÁREA DE ESTUDO**

O município de Nova Friburgo é parte integrante da Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro juntamente com outros 13 municípios e conta com 7 distritos: Nova Friburgo, Rio Grandina, Campo do Coelho, Amparo, Lumiar, Conselheiro Paulino e São Pedro da Serra (PMNF, 2014) (Figura 4). Possui área de cerca de 933 km<sup>2</sup> e uma população de aproximadamente 182.00 habitantes, dos quais 87% é residente em áreas urbanas e 13% em áreas rurais (IBGE, 2010).

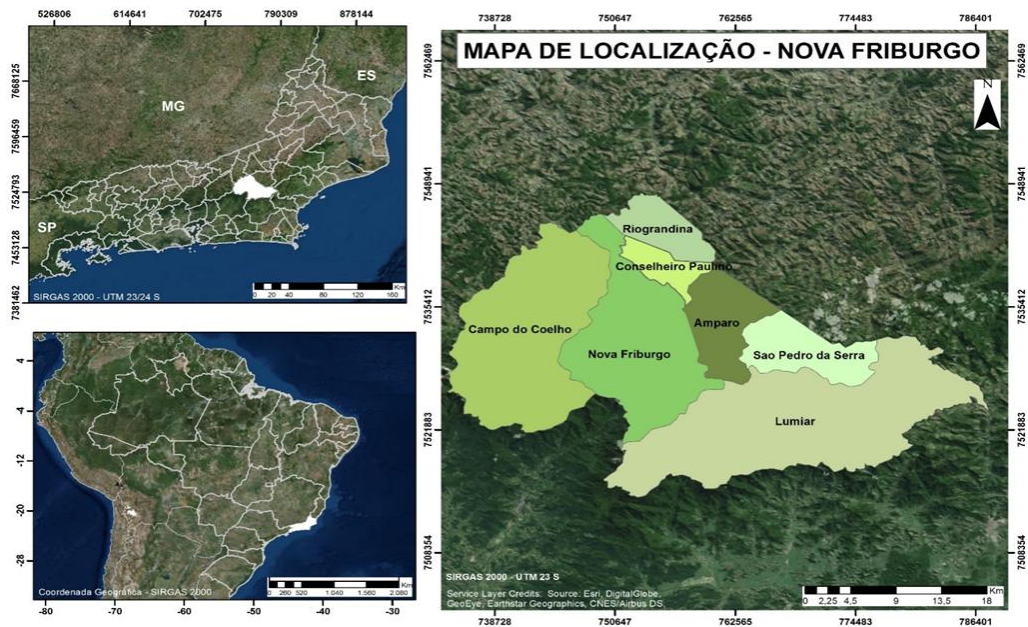


Figura 4: Mapa de localização do Município de Nova Friburgo. Elaborado por Roberta Pereira (2018)

#### 4.1 ENCOSTAS RECOBERTAS POR VEGETAÇÃO FLORESTAL SECUNDÁRIA E GRAMÍNEA

A escolha por essas encostas limitou-se à bacia Córrego Dantas e adjacências por ter sido a área mais afetada no evento extremo de chuva de janeiro de 2011, além da cicatriz de deslizamento e do fragmento florestal em estágio secundário serem representativos da região (Figura 5).

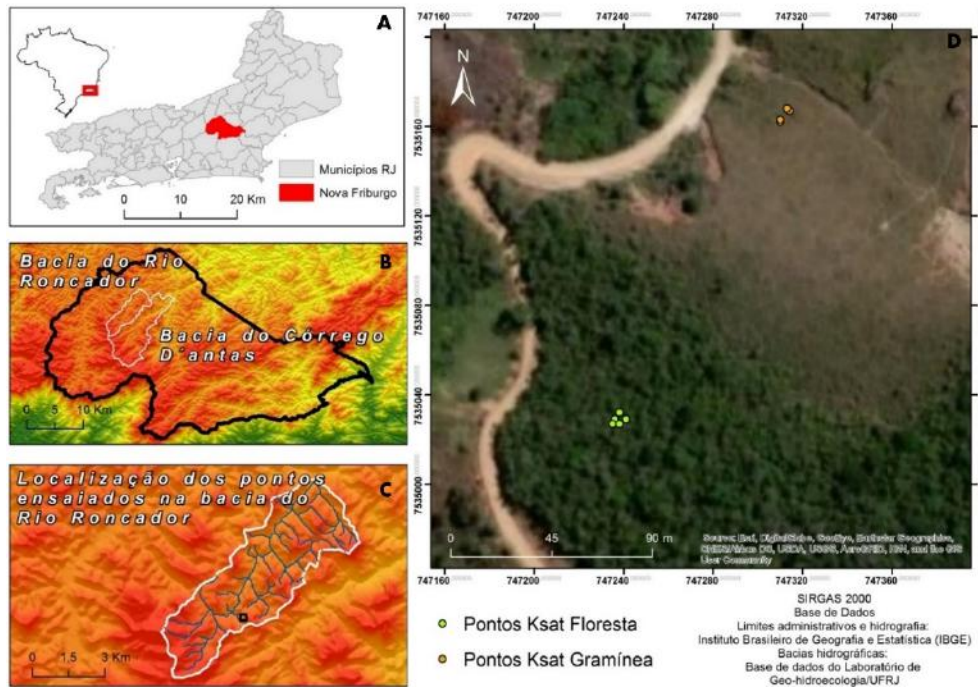


Figura 5: Localização das áreas de estudo na escala nacional, regional e local. A) localização do município de Nova Friburgo; B) Localização das Bacias do Córrego D'antas e do Rio Roncador em Nova Friburgo; C) Localização dos pontos de ensaio na Bacia do Rio Roncador; D) os pontos em laranja indicam os sítios amostrais de  $K_{sat}$  em encosta sob gramínea com vegetação herbáceo-arbustiva e os pontos em verde indicam os pontos amostrais na floresta secundária degradada. (Elaborado por Joana Fraga, 2019)

Ambas as encostas apresentam uma declividade média em torno de  $30^\circ$  e uma topografia côncava, resultado de escorregamentos pretéritos (COELHO NETTO et al. 2016). As autoras ressaltam que o evento de 2011 foi apenas mais uma recorrência do mesmo fenômeno que originou essa morfologia côncava. Machado (2013) indica que o mecanismo atuante nessa encosta é translacional, com uma ruptura na profundidade média de 1,5m na parte superior da encosta (Figura 6).





Figura 6: Vista panorâmica da encosta de estudo recoberta com vegetação florestal secundária e gramínea.

Na encosta de vegetação herbáceo-arbustiva, José (2016, *apud* MARQUES 2018) observou espécies como *Myrcia splendens* (Guamirim), *Baccharis* sp. (Assapeixe), *Senna macranthera* (Fedegoso) e algumas espécies arbustivas-arbóreas como *Pterogyne nitens* (Amendoin-bravo). Silva (2014) e Machado (2013) estudaram as características do solo na mesma localidade e identificaram uma camada de solo laterítico com espessura variando entre 1,5 m (na parte superior da encosta) e cerca de 4,5 m na sua porção média-inferior; e outra saprolítica, sob este solo laterítico, com espessura em torno de 1,5 m na parte superior da encosta e atingindo mais de 15 m de profundidade na porção média-inferior. As análises granulométricas realizadas através dos estudos não observaram diferença significativa na composição do solo, revelando uma predominância da fração areia nos perfis de solos da encosta.

Já na floresta, Marques et al. (2018) também observaram predominância da fração areia no solo através dos ensaios sem uso de defloculante e dispersor, e a partir da profundidade de 100cm o solo passa a assumir uma textura mais fina, aumentando a participação de silte. Os autores notaram ainda maior índice de estabilidade de agregados e porosidade, relacionados a presença de raízes na parte superior do solo, que liberam matéria orgânica, agregadora de partículas, estruturando melhor o solo (MARQUES et al. 2018). Em relação a distribuição radicular das vegetações, os autores destacam que a floresta recobre melhor o solo com suas raízes, atingindo uma densidade

média de comprimento de raízes de 49,1 m.m<sup>3</sup>, enquanto na gramínea o valor foi apenas de 6,4 m.m<sup>3</sup>. Já Fraga et al. (2015) estudando este mesmo fragmento florestal observou que essas árvores predominantemente jovens formam um extrato arbóreo entre 3 e 9 metros de altura. A vegetação em questão apresenta alta taxa de indivíduos arbóreos mortos (12%), onde dominam as espécies pioneiras e secundárias iniciais, com grande presença das espécies Rubiaceae, Myrtaceae e Erythroxylaceae (68,87% dos indivíduos amostrados) (FRAGA et al. 2015).

Os resultados de medidas de sucção amostrados por Marques et al. (2018) demonstram uma condição mais seca do solo florestal em relação a gramínea, que tende a maior conservação de umidade no solo. Contudo, o comportamento médio de saturação de água no solo coberto por gramínea foi observado preferencialmente a 50cm, devido ao seu enraizamento mais superficial, que promove descontinuidade na transmissão de água em profundidade, resultando na saturação do solo na base do seu enraizamento. Por outro lado, os casos de saturação no solo recoberto por floresta ocorrem nas profundidades de 100cm, 150cm e 220cm, associado as raízes mais profundas que redirecionam a água através de seus tecidos até as suas terminações.

#### 4.1 CARACTERÍSTICAS DE COBERTURA VEGETAL DA REGIÃO

A vegetação presente no município de Nova Friburgo faz parte da Mata Atlântica, bioma que forma um mosaico de formações florestais e outros ecossistemas associados, considerado um dos cinco *Hot Spots* de biodiversidade mais importantes do mundo (LINO, 2002). A Mata Atlântica foi o bioma brasileiro mais destruído, apresentando cerca de 12-17% de sua área coberta com matas em melhor estado de conservação, 24-26% de cobertura florestal, considerando qualquer tipo de floresta, e 27-29% de vegetação nativa, incluindo-se formações não-florestais (SOS MATA ATLÂNTICA, 2019). Esse bioma cobre uma área responsável por 70% do PIB brasileiro, onde vivem aproximadamente 120 milhões de pessoas (CAMPANILI & SCHAFFER, 2010). Segundo Ribeiro *et al.* (2009), mais de 80% dos fragmentos florestais possuem menos de 50 ha com distâncias entre si de mais de 1 km, cujas conectividades são insuficientes para a conservação a longo prazo dos ecossistemas.

No Estado do Rio de Janeiro, a situação da cobertura vegetal é crítica e os principais remanescentes encontram-se apenas em locais de maior declividade das

elevações da Serra do Mar e dos maciços litorâneos (RAMBALDI et al. 2003). Segundo a Fundação SOS Mata Atlântica (2009, *apud* Silva (2014), o município de Nova Friburgo se destaca por seus 45% de área de cobertura florestal. Contudo, as características atuais da vegetação limitam-se a remanescentes fragmentados compondo sucessão secundária da vegetação florestal muita das vezes bastante alterados próximos aos centros urbanos e áreas de cultivo agrícola. São exceções a estes casos as unidades de conservação de Macaé de Cima (350km<sup>2</sup>) e o Parque Estadual dos Três Picos (588km<sup>2</sup>).

Francisco e Almeida (2012 *apud* Lima et al. 2017) destacam que os terrenos íngremes, elevados e conseqüentemente pouco acessíveis facilitaram a manutenção da cobertura florestal em cerca de 60% do município de Nova Friburgo, incluindo florestas secundárias em diferentes estágios de sucessão, sujeitas à exploração seletiva ou regeneradas após o abandono de áreas agrícolas e pastagens devido à baixa fertilidade dos solos, erosão, alta umidade, diminuição da população rural, mudanças na legislação e fiscalização ambiental, e à criação de unidades de conservação (CASTRO, 2015)

Lima et al. (2017) ao analisar a influência dos deslizamentos de Janeiro de 2011 no município de Nova Friburgo na alteração da paisagem e geração de fragmentos florestais, destaca que o número de manchas obteve aumento considerável. Utilizando mapas de cobertura vegetal e de deslizamentos do município os autores destacam que em 2009 o número total de fragmentos era de 241, e após 2011, houve um aumento para 498, dos quais 98% possuíam área menor que 100ha, e que as manchas <10ha sofreram um aumento, de 58% em 2009 para 77% em 2011, e que o tamanho médio dos fragmentos sofreu uma redução de 24ha para 10ha.

Os autores destacam que estes dados podem evidenciar maior vulnerabilidade e instabilidade ecológica dos fragmentos florestais remanescentes na paisagem local. Manchas maiores que passaram pelo processo de redução e fragmentação podem alterar processos considerados importantes na manutenção da biodiversidade local, tais como polinização e dispersão. Por outro lado, fragmentos menores podem funcionar como pontos de ligação ou trampolings ecológicos, principalmente quando próximos a grandes núcleos de biodiversidade.

## **5 MATERIAIS E MÉTODOS**

Os ensaios de condutividade hidráulica saturada foram conduzidos sob área de encosta recoberta por floresta secundária e gramínea no município de Nova Friburgo (Fig. 6). Para a determinação da condutividade hidráulica saturada foi utilizado um Permeâmetro de Carga Constante (Amozegar, 1968a) (Figura 7). O equipamento consiste numa unidade formada por 5 seções: quatro tubos de carga constante (3 de carga fixa de 50 cm e 1 de carga variável), um reservatório principal de 4 litros, um reservatório de medição graduado de 1 litro, uma unidade de dissipação de água e uma base com válvula de 3 vias (OFF, 1 ON e 2 ON).

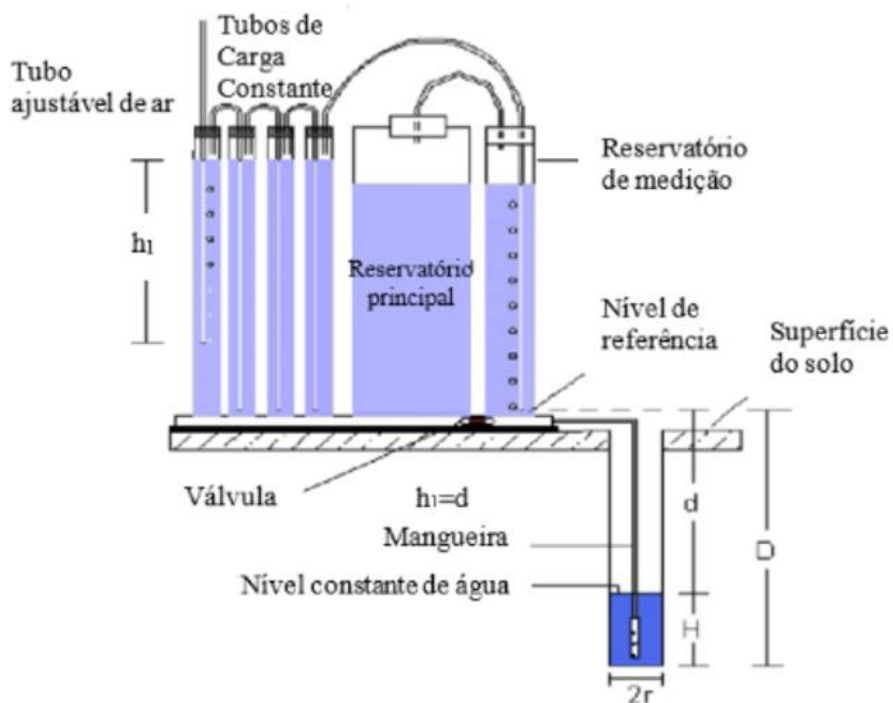


Figura 7: Desenho esquemático do equipamento utilizado nas medições da condutividade hidráulica saturada em campo. (BALCÁZAR ORDÓÑEZ, 2010)

Em relação aos demais aparelhos que também podem ser usados para a determinação desta variável, este equipamento apresenta como principais características favoráveis ao seu uso o fácil transporte, baixo peso, uso de pouca quantidade de água durante sua operação e o alcance de maiores profundidades (até 1,5m).

Inicialmente, os pontos de ensaio foram preparados a partir da abertura de um furo com o auxílio de um trado manual de 6cm de diâmetro. Após atingida a profundidade necessária para realização do ensaio – mensurada com o auxílio de uma trena metálica – o furo era ajustado com um trado plano cilíndrico, de extremidade

fechada com lâmina perpendicular a parede do furo. Para eliminar o impacto da deformação da parede do solo com a tradagem, se faz necessário utilizar uma escova de *nylon* para eliminar este impacto (Figura 8).

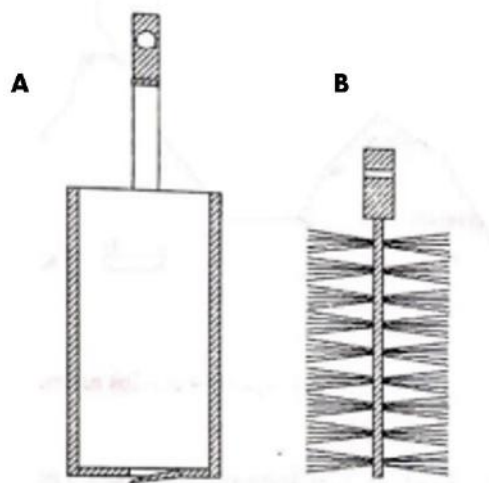


Figura 8: ferramentas utilizadas na preparação do furo de ensaio. A) trado plano cilíndrico; B) escova de *nylon*.

Finalizado a preparação do furo, o equipamento era colocado sob um platô, devidamente nivelado ao nível do solo e dava-se início aos ensaios para determinação da condutividade hidráulica saturada (Figura 9). Após o início da operação do aparelho, era registrado a partir de um tempo pré-determinado de acordo com as condições de ensaio, a descida do nível de água no reservatório de medição do instrumento e anotado em planilha o valor observado (Figura 10). Considerou-se alcançada a constante após a obtenção de 3 leituras consecutivas com mesmo valor. Os valores registrados (Figura 9) eram colocados no formato digital da planilha e o valor de condutividade hidráulica era calculado a partir da equação *Glover Solution*, disponibilizada e recomendada pelo próprio manual.

Foram conduzidos ensaios de condutividade hidráulica saturada a partir de 6 pontos pré-determinados na área de floresta e 5 pontos no sítio de gramínea, nas profundidades de 20cm, 50cm, 100cm, 120cm e 150cm, totalizando 30 ensaios sob floresta e 25 em encosta com gramínea (Figura 5)



Figura 9: Preparação dos pontos de ensaio para determinação da  $K_{sat}$  a) abertura do furo com auxílio do trado manual; b) medida da profundidade do furo; c) posicionamento do equipamento nivelado para início dos ensaios; d) execução dos ensaios.

ENSAIOS COM AMOOZEMETER							
Número do ensaio:						Responsável:	
Localização:						Data:	
Condições do tempo:						Temperatura:	
Ponto GPS:						Profundidade (cm)	
Horizonte do solo:						Fonte de água:	
Profundidade do furo (cm):		0				Medida (atual) do nível d'água no buraco:	
Distância entre o nível de referência e superfície do solo (cm):						Inicial (cm):	
Distância do fundo do buraco ao nível de referência (cm) (D):						Final (cm):	
Altura da coluna d'água no buraco (cm) (H):		0				Raio do furo ( r ) (cm):	
Constant-head tube setting (d):		0				Clock time:	
Coefficiente A						Leitura do steady-state :	
Reservatórios utilizados para a medição da taxa do fluxo no Steady-State							
Fluxo medido no reservatório de medição apenas:						Fator de Conversão (C.F.)(cm <sup>2</sup> )	20
Fluxo medido nos dois reservatórios (medição e principal):						Fator de Conversão (C.F.)(cm <sup>2</sup> )	105
<i>*Para obter o volume do fluxo, multiplicar a mudança do nível d'água pelo fator de conversão (C.F.) apropriado acima</i>							
GLOVER SOLUTION							
Δt (min)	Mudança no nível d'água (cm)	Volume do fluxo (cm <sup>3</sup> )	Q (cm <sup>3</sup> /min)	Q (cm <sup>3</sup> /h)	K <sub>sat</sub> (cm/min)	K <sub>sat</sub> (cm/h)	
		0					
		(*ADEQUAR C.F.)					

Figura 10: Planilha usada para registro e cálculo da condutividade hidráulica saturada.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 COMPORTAMENTO MÉDIO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SOB FLORESTA SECUNDÁRIA E GRAMÍNEA

Através do gráfico abaixo (Figura 11) é possível notar a variação do comportamento médio de  $K_{sat}$  na área de encosta recoberta por cobertura vegetal do tipo floresta secundária e gramínea. Superficialmente, a 20cm de profundidade, observa-se um comportamento similar na permeabilidade dos solos em ambas as áreas, onde na floresta obteve-se uma  $K_{sat}$  na ordem de 173 mm/h e na gramínea, pouco menos, de 163 mm/h.

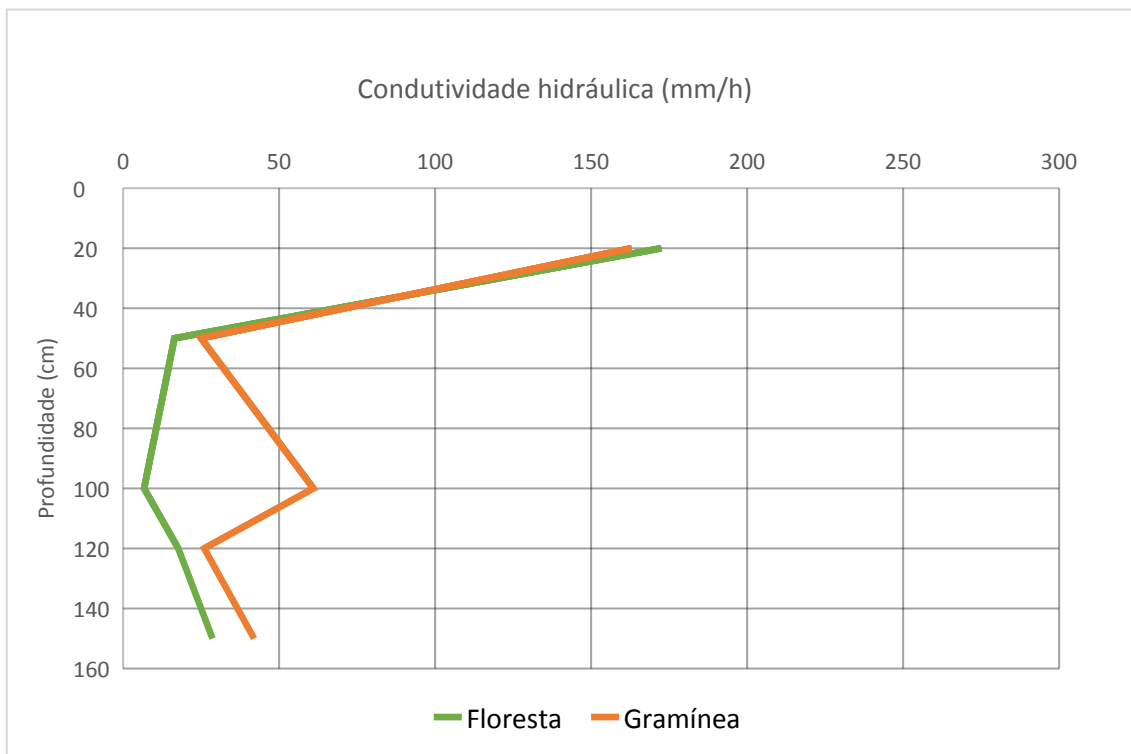


Figura 11: Variação média da  $K_{sat}$  sob cobertura vegetal de floresta secundária e gramínea.

Nessa mesma figura 11 pode-se ressaltar ainda uma queda acentuada nos valores de  $K_{sat}$  na porção superior do solo. Na floresta essa queda de permeabilidade registrada a 50cm foi de 16mm/h, já na gramínea em torno de 25mm/h. A 100cm o comportamento de ambas as áreas se torna distinto; na floresta a redução da  $K_{sat}$  permanece atingindo 7mm/h, enquanto na gramínea observa-se um aumento na permeabilidade do solo, que chega a 61mm/h. Abaixo de 120cm o comportamento da condutividade torna-se semelhante (floresta – 18mm/h; gramínea – 26mm/h), característica que se preserva até

150cm (floresta – 29mm/h; gramínea – 42mm/h). O desvio observado em torno de 100cm de profundidade poderia estar refletindo condicionantes locais, possivelmente ligados a feições biogênicas que serão melhores discutidos nas sessões seguintes.

## 6.2 VARIAÇÃO ESPACIAL DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA SOB FLORESTA SECUNDÁRIA

Nas tabelas 3 estão dispostos todos os resultados da  $K_{sat}$  encontrados nos ensaios realizados em campo na área de floresta, apresentados por ponto amostral e profundidade, além dos valores médios obtidos.

Tabela 3: Valores de  $K_{sat}$  no perfil de solo florestado em cada um dos pontos amostrais, e respectivos valores médios e desvio padrão.

<i>Floresta Secundária Inicial (~25 anos)</i>								
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Média	Desvio Padrão
$K_{sat}$ 20 <sub>cm</sub> (mm/h)	290	116	255	173	172	165	173	64
$K_{sat}$ 50 <sub>cm</sub> (mm/h)	30	9	19	14	40	2	16	13
$K_{sat}$ 100 <sub>cm</sub> (mm/h)	10	4	1	31	9	1	7	11
$K_{sat}$ 120 <sub>cm</sub> (mm/h)	5	14	41	37	1	7	18	17
$K_{sat}$ 150 <sub>cm</sub> (mm/h)	23	58	1	1	35	48	29	23

Na gráfico da figura 12 nota-se que superficialmente a 20cm o solo possui maior  $K_{sat}$ , atingindo um patamar máximo de 290mm/h (P1) e um valor médio de 173mm/h. Ao avançar no perfil é possível observar uma queda da condutividade hidráulica a 50cm, com média de 16mm/h e valor máximo de 40mm/h (P5). A tendência de queda é preservada até 100cm, atingindo o menor valor médio registrado no estudo de 7mm/h e valor máximo de 31mm/h (P4). A partir de 120cm os valores de  $K_{sat}$  no solo aumentam, com média de 18mm/h com a maior permeabilidade registrada de 41mm/h (P3); a recuperação da condutividade hidráulica permanece a 150cm, profundidade na qual o solo atinge uma média de 29mm/h e um valor máximo de 58mm/h (P2). Através da leitura do gráfico é possível observar ainda que o solo florestal apresenta uma faixa mais restrita de variação da permeabilidade que permanece em torno de 50mm/h entre



as profundidades de 50cm e 150cm, com a exceção do P2 a 150cm (58mm/h). Nesse compartimento verifica-se também menores valores de desvio padrão.

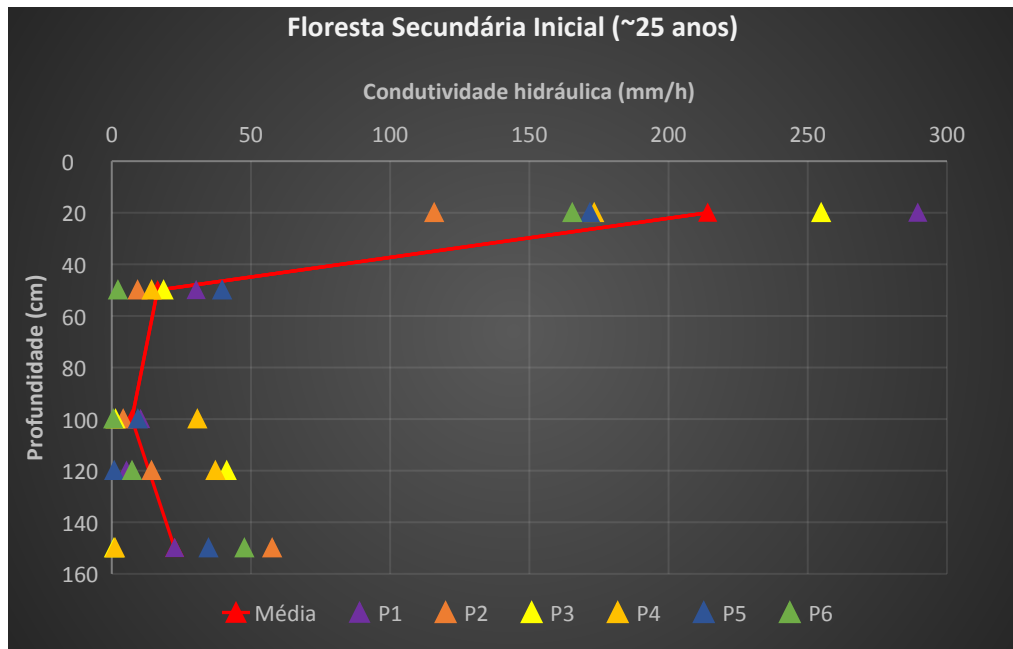


Figura 12: Gráfico de  $K_{sat}$  da área de floresta.

A maior permeabilidade a 20cm pode estar relacionada a atividade biogênica e a presença de raízes finas no topo do solo como visualizados em campo (Figura 13). Ambas as características podem contribuir para uma maior permeabilidade superficial dos solos, uma vez que tanto as raízes como as minhocas contribuem para a formação de bioporos que funcionam como canais condutores de água através de caminhos preferenciais de percolação.



Figura 13: Evidências de campo encontrados na área da floresta. A) emaranhados de raízes finas em decomposição associadas a um buraco no solo. B) minhoca no solo

Fraga et al. (2014) também observaram maiores valores de condutividade hidráulica no topo do solo decorrentes da maior presença de raízes finas nessa profundidade - 20cm - na mesma área de estudo. Em campo, no presente estudo e após a determinação da condutividade hidráulica saturada, foi realizada a escavação dos pontos amostrais onde foi possível observar grande concentração de raízes finas na parte superior do solo (Figura 14).



Figura 14: Pontos amostrais abertos até 20cm após realização de ensaios de K<sub>sat</sub>

Anteriormente, Noguchi et al. (1997) também encontraram altos valores de  $K_{sat}$  no solo devido a uma zona porosa predominantemente causada pela existência de canais criados pela decomposição de raízes verticais. Além das raízes apodrecidas, os autores também destacam que as raízes vivas estimulam o fluxo preferencial nas direções vertical e lateral na encosta. Posteriormente, Ghestem et al. (2011) destacam o papel das raízes na transmissão de água em subsuperfície no solo. De acordo com os autores, as raízes atuam como capturadoras de água que flui pelos microporos saturados e a redireciona no solo.

Marques et al., (2018) encontrou uma alta densidade de comprimento de raízes na mesma área de estudo, com a maior presença até 20cm no solo. É possível observar, de maneira geral, que o solo apresenta maior recobrimento por raízes na superfície, decrescendo em profundidade, sendo o comportamento inverso observado apenas a 30cm e na transição entre 100-150cm (Figura 15).

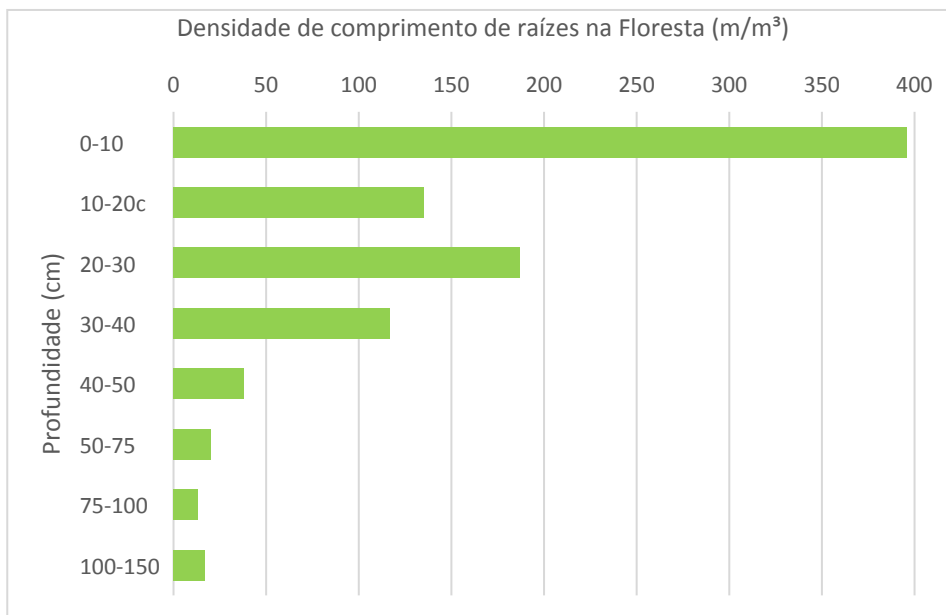


Figura 15: densidade de comprimento de raízes na área de floresta. Modificado de Marques (2016)

Marques et al. (2018) indicam que o solo florestal também apresenta maior índice de estabilidade de agregados e porosidade em todas as profundidades, característica relacionada a maior presença de raízes que contribuem para melhor estruturação do solo.

### 6.3 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA SOB GRAMÍNEA

Já os resultados obtidos na encosta recoberta por gramínea são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 4: Valores de  $K_{sat}$  da gramínea por ponto amostral, profundidade e valores médios.

	Gramínea						
	P1	P2	P3	P4	P5	Média	Desvio Padrão
$K_{sat} 20_{cm} (mm/h)$	163	265	182	38	53	163	95
$K_{sat} 50_{cm} (mm/h)$	20	5	122	25	29	25	47
$K_{sat} 100_{cm} (mm/h)$	3	63	71	61	37	61	28
$K_{sat} 120_{cm} (mm/h)$	2	24	70	26	74	26	31
$K_{sat} 150_{cm} (mm/h)$	4	47	42	20	94	42	34

No gráfico da figura 16 nota-se também maior condutividade hidráulica saturada na parte mais superficial do solo a 20cm. Nesse compartimento, o valor médio de  $K_{sat}$

encontrado – 163 mm/h - é similar ao da encosta recoberta por floresta, e o valor máximo atingido foi de 265mm/h (P2). Ao avançar em profundidade no solo, a 50cm, verifica-se que a queda da permeabilidade é puxada por grande parte dos pontos, com a exceção de P3 que registra 122mm/h. O valor médio encontrado foi de 25mm/h. Diferente do observado na floresta secundária, sob gramínea o solo apresenta uma tendência de aumento a 100cm, que atinge valor médio de 61mm/h e valor máximo de 71mm/h (P3). A partir de 120cm a  $K_{sat}$  volta a diminuir, atingindo valor médio de 26mm/h e máximo de 74mm/h (P5). Esse comportamento de queda não pode ser observado a 150cm, onde o solo recupera sua permeabilidade com valor médio de 42mm/h e máximo de 94mm/h (P5). Nessas profundidades maiores, a partir de 100cm até 150cm também chama atenção o fato que a amplitude de variação aumenta, o que por sua vez também pode refletir variação de atividade biogênica ou condicionantes texturais do perfil de solo.

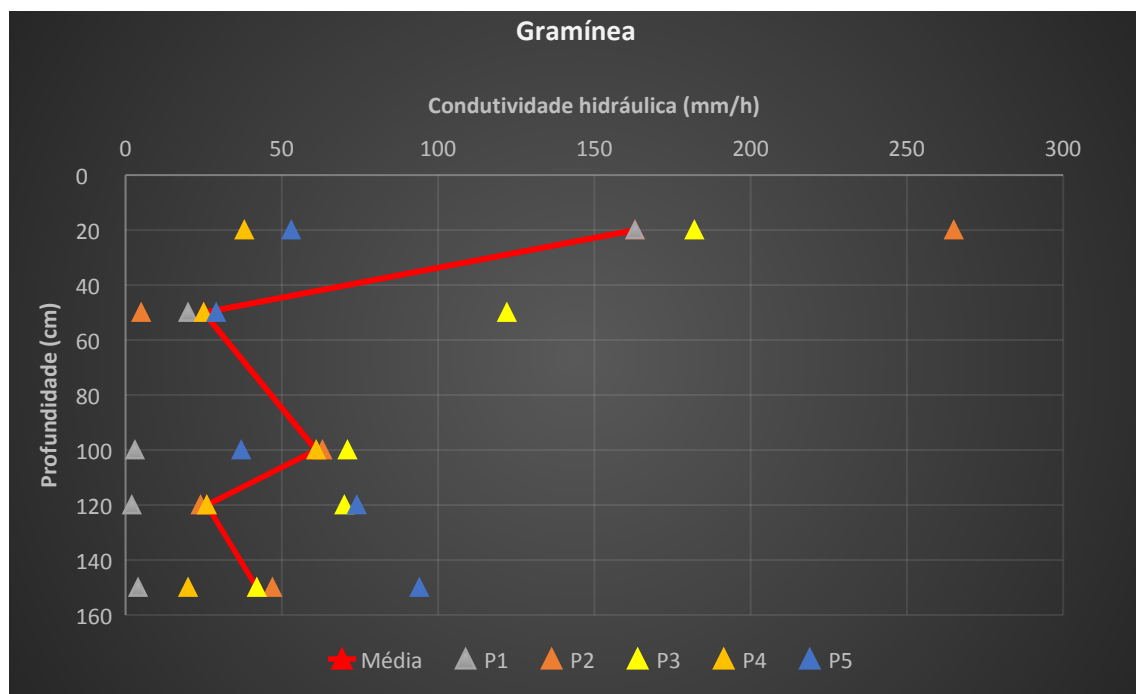


Figura 16: Gráfico de  $K_{sat}$  da área de gramínea.

Pela curva média pode-se observar, assim como na floresta, a  $K_{sat}$  variar de modo expressivo entre 20cm e 50cm, embora o intervalo da variação seja relativamente inferior se comparado com a floresta. Chama a atenção, entretanto, que a variabilidade

espacial na gramínea é bem mais expressiva, seja pela curva média seja pelos valores dos pontos amostrados individualmente. Esse fato pode estar revelando o que se observa em campo em relação a descontinuidade espacial da cobertura de gramínea, entre o núcleo de turfeiros da cobertura vegetal e o espaço entre as turfas. Além disso, destaca-se a grande concentração de raízes até 30cm no solo, onde a densidade de comprimento revela que cerca de 92% do comprimento total está localizado até essa profundidade (Figura 17).

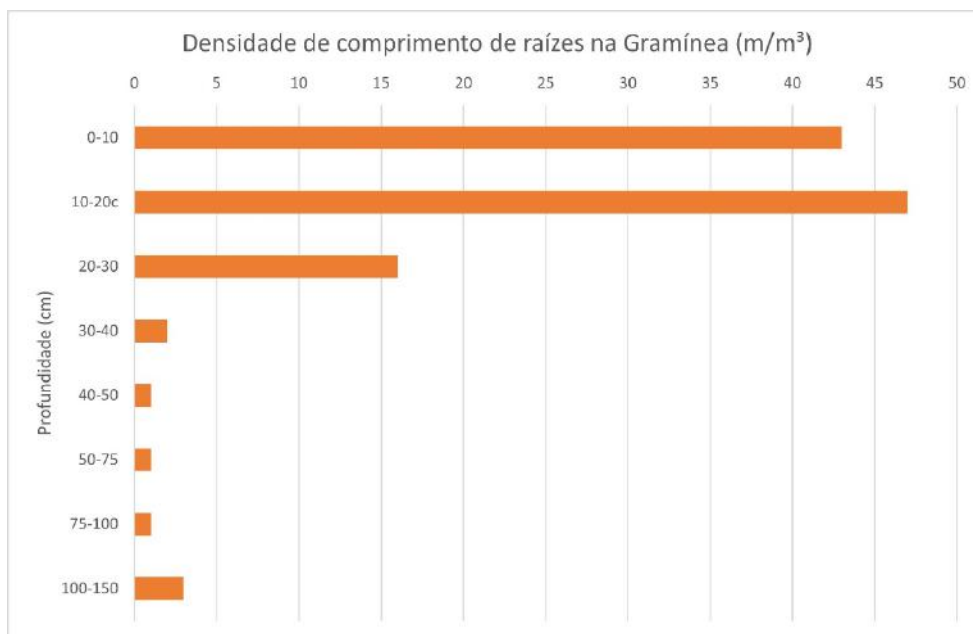


Figura 17: densidade de comprimento de raízes na área de gramínea. Modificado de Marques (2016)

Além das condições de cobertura vegetal deve-se destacar também o papel da fauna escavadora do solo, observadas em grande presença na encosta. Estes animais podem atuar criando caminhos preferenciais para percolação da água observadas em campo. Os valores médios encontrados neste estudo estão acima dos comumente encontrados na literatura. A 20cm e 30cm de profundidade, Zwartendijk *et al.*, (2017) encontraram uma  $K_{sat}$  de apenas 20mm/h e 0,8mm/h, respectivamente, valor no compartimento de 20cm bem abaixo do apresentado neste experimento. Salemi *et al.*, (2013) na floresta atlântica na Serra do Mar encontrou a 15cm uma condutividade hidráulica de cerca de 6mm/h.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados apresentados, é possível observar as variações de condutividade hidráulica saturada como resposta as características das vegetações, sobretudo no que diz respeito ao seu sistema radicular. Tanto na floresta como na gramínea a alta densidade de raízes finas no topo do solo – a 20 cm – contribuem para melhor drenagem dos solos e altos valores de  $K_{sat}$  nessa profundidade. Destaca-se ainda na encosta recoberta pelo fragmento florestal o grande papel da fauna escavadora do solo, que junto com as raízes contribuem para a formação de bioporos que funcionam como caminhos preferenciais de percolação da água.

Uma vez que essas características não são preservadas em profundidade no solo, especialmente as características de distribuição das raízes de cada uma das vegetações, notou-se uma redução da  $K_{sat}$  em ambas as áreas, que na floresta ocorreu de forma mais acentuada até 100cm, e na gramínea a 50cm e 120cm. Nessa vegetação, sua descontinuidade espacial na encosta, caracterizada por núcleos de turfeiros da vegetação rasteira e espaços vazios, podem ter contribuído para as altas variações nos dados amostrados. Além disso, seu enraizamento superficial contribui para a saturação do solo logo abaixo de suas terminações, gerando superfícies de rupturas mais rasas em relação a floresta.

Essa, por sua vez, devido ao seu estágio sucessional, em que as árvores são de espécie secundária inicial, pouco desenvolvidas no seu sistema radicular e com altas taxas de substituição, acabam por injetar água até a profundidade terminal de suas raízes, criando zonas de ruptura em maiores profundidades no solo, no contato de camadas de diferentes permeabilidades.

## 8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVELAR, A. S., COELHO NETTO, A. L., LACERDA, W. A., BECKER, L. B., & MENDONÇA, M. B. Mechanisms of the recent catastrophic landslides in the mountainous range of Rio de Janeiro, Brazil. In Proceedings of the Second World Landslide Forum Vol. 3, 2011.

BALCÁZAR ORDÓÑEZ, Luis. Flujos laterales de agua en dos suelos típicos de un bosque primario de montaña en la reserva biológica San Francisco, en el sur del Ecuador. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso.

BANCO MUNDIAL. Avaliação de Perdas e Danos: inundações e deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro – Janeiro de 2011. Relatório elaborado pelo Banco Mundial com apoio do Governo do Estado do Rio de Janeiro. Novembro, 2012.

CAMBRA, M., F., E., S.. Movimentos de água na porção superior de solos sob pastagem: o papel do sistema radicular. 1998. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CAMPANILI, M., SCHAFER, W. B. Mata Atlântica: patrimônio nacional dos brasileiros. Brasília: MMA, 2010. 408 p.

CASTRO, P. F. (Org.). Atlas das unidades de conservação do Rio de Janeiro. 2. ed. São Paulo: Metalivros, 2015. 191 p.

COELHO NETTO, A.L. Surface Hydrology and Soil Erosion in a Tropical Mountainous Rainforest Drainage Basin, Rio de Janeiro. Belgium. PhD Thesis, Katholieke Universiteit Leuven. 1985. 181 p.

COELHO NETTO, A. L. Overlandflow production in a tropical rainforest catchment: the role of litter cover. *Catena*, v. 14, p. 213-231, 1987.

COELHO NETTO, A.L.; AVELAR, A.S.; SATO, A.M.; DIAS, M.A.; NEGREIROS, A.B. Vulnerabilidade em Geocossistemas Montanhosos e Desastres Causados por Deslizamentos na Interface Florestal-Urbana: Controles Geológicos, Geomorfológicos e Geocológicos. In: LACERDA, W.A.; PALMEIRA, E.M.; COELHO NETTO, A.L.; EHRLICH, M. Desastres Naturais: suscetibilidade e riscos, mitigação e prevenção, gestão e ações emergenciais. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2012. 211 p.

COELHO NETTO, A. L., SATO, A. M., AVELAR, A. S., VIANNA, L. G. G., ARAÚJO, I. S., FERREIRA, D. L. A., LIMA, P. H., SILVA, A. P. A., SILVA, R. P. January 2011: the extreme landslide disaster in Brazil. In: MARGOTTINI, C., KYOJISASSA, C. P. (Org.). *Landslide Science and Practice*. 1ª ed. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2013, v. 6, p. 377- 384.

COELHO NETTO, A.L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T., CUNHA, S.B (Orgs.) *Geomorfologia, uma atualização de bases e conceitos* 6ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. p. 93-144.

- COELHO NETTO, A., L.; SILVA, R. P. ; FACADIO, A. C. C. ; LIMA, P. H. M. . Movimentos gravitacionais de massa e evolução das encostas montanhosas em Regiões Tropicais: estudos em Nova Friburgo, RJ.. Willy Lacerda: doutor no saber e na arte de viver.. 1ed.Rio de Janeiro: Outras Letras, 2016, v. 1, p. 235-241.
- DANTAS, M.E.; SHINZATO, E.; MEDINA, A.I.M.; SILVA, C.R.; PIMENTEL, J.; LUMBRERAS, J.F.; CALDERANO, S.B.; CARVALHO FILHO, A. Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. Oficina Internacional de Ordenamento Territorial Mineiro. Rio de Janeiro. 2005.
- DANTAS, M. E. Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro. In: Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. Brasília: CPRM, 2000.
- DEUS, E. O papel da escavação das formigas do gênero *Atta* na hidrologia de encostas e áreas de pastagem – Bananal (SP). 1991. 135 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.
- DUNNE, T., LEOPOLD, L. B. Water Enviromental Planning. W. H. San Francisco: Freeman & Company, 1987, 818 p
- FERNANDES, N. F., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T., VIEIRA, B. C., MONTGOMERY, D. R., GREENBERG, H. Condicionantes geomorfológicas dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 2, p. 51-71, 2001.
- FRAGA, J. S. Aspectos vegetacionais relevantes à hidrologia de floresta secundária com idades distintas: subsídios à compreensão de estabilidade de encostas. 2014. 125 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- FRAGA, J.S.; SILVA, I.M.; AMORIM, T.A.; OLIVEIRA, R.R.; COELHO NETTO, A.L. Aspectos vegetacionais de florestas secundárias relevantes à estabilidade de encostas em Nova Friburgo, RJ. Pesquisa Botânica, v.68,p.287-309, 2015.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. 2009. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica Período 2005-2008. Relatório Técnico, 176 p.
- GHESTEM, M., SIDLE, R. C., STOKES, A. The influence of plant root systems on subsurface flow: Implications for slope stability. BioScience, v. 61, n. 11, p. 869-879, 2011.
- GREENWAY, D. R. Vegetation and slope stability. In: ANDERSON, M. G., RICHARDS, K. S. Slope stability. New York: John Willey & Sons LTD, 1987, p. 187-230.
- GUARIGUATA, M. R., & OSTERTAG, R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. Forest ecology and management. v. 148. p. 185-206. 2001.



GUIDICINI, G., IWASA, O. Y. Tentative correlation between rainfall and landslides in a humid tropical environment. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, v. 16, p. 13-20, 1977.

HASSLER, S.K., ZIMMERMANN, B., BREUGEL, M., HALL, J.S., ELSENBEERB, H., 2011. Recovery of saturated hydraulic conductivity under secondary succession on former pasture in the humid tropics. *For. Ecol. Manage.* 261, 1634–1642

HILLEL, D. *Environmental soil physics: Fundamentals, applications, and environmental considerations*. San Diego: Academic press, 1998.

HORTON, R.E. The role of infiltration in the hydrological cycle; *Trans. Am. Geophys. Union*, 14, 446-460, 1933.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo 2010. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/>

JANSEN, R. C. Distribuição dos sistemas radiculares em encostas florestadas e sua influência sobre a infiltração. 2001. 118 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

JOSÉ, F. O. Análise do incremento de resistência ao cisalhamento do solo conferido por raízes florestais em Nova Friburgo, RJ. 2016. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016

LIMA, B. C.; Francisco, C. N.; Bohrer, C. B. A. Deslizamentos e fragmentação florestal na região serrana do estado do Rio de Janeiro. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1283-1295, out.-dez., 2017

LINO, C. *Brasil o país da Mata Atlântica*. CNRBMA, 2002

MACHADO, K. M. Retroanálise de um Deslizamento de Encosta no Município de Nova Friburgo – RJ. 2013. 63 p. Monografia (Graduação em Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

MADUREIRA C., SANCHES R., BASTOS, R. (2008) Mapa de Uso e Vegetação do estado do Rio de Janeiro (escala 1:100.000)

MARQUES, M. C. O. Influência de Vegetação Florestal Secundária e de Gramínea na Hidrologia de Encostas: Subsídios aos Estudos dos Movimentos Gravitacionais de Massa em Nova Friburgo/RJ.. 2016 – Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MARQUES, MARIA CLARA DE OLIVEIRA ; COELHO NETTO, Ana Luiza ; SATO, Anderson Mululo . Influência de floresta secundária e gramínea na deflagração de deslizamentos translacionais rasos em Nova Friburgo, Rio De Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia* <sup>JCR</sup>, v. 19, p. 793-806, 2018.

MINISTÉRIO PÚBLICO – RIO DE JANEIRO (2013). Desastre na Região Serrana. Disponível em: <http://www.mprj.mp.br/>

MIRANDA, J. C. Intercepção das chuvas pela vegetação florestal e serrapilheira nas encostas do Maciço da Tijuca: Parque Nacional da Tijuca, RJ. 1992. 100 p. Dissertação

(Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1992.

NOGUCHI, S., NIK, A. R., KASRAN, B., TANI, M., SAMMORI, T., MORISADA, K. Soil physical properties and preferential flow pathways in tropical rain forest, Bukit Tarek, Peninsular Malaysia. *Journal of Forest Research*, v. 2, n. 2, 115-120, 1997.

OLIVEIRA, R.R. FRAGA, J.S., SALES, G.P.S., COELHO NETTO, A.L. Perda de Funções Ecológicas de Encostas de Angra dos Reis, RJ. PESQUISAS, BOTÂNICA Nº 63:41-53 São Leopoldo: Instituto Anchieta de Pesquisas, 2011.

PRANDINI, L., GUIDICINI, G., BOTTURA, J.A., PONÇANO, W., SANTOS, A.R., Behavior of the vegetation in slope stability: a critical review. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, n.16. p.51-55. 1977.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA FRIBURGO (PMNF). Disponível em: <http://www.pmnf.rj.gov.br/>

RAMBALDI, D. M., MAGNANI, A., ILHA, A., LARDOSA, E., FIGUEIREDO, P., OLIVEIRA, R. F. A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: CNRBMA, 2003.

RAVEN, P. H., EVERT, R. F., EICHHORN, S. E. *Biologia Vegetal*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 7ª ed, 2007, 830 p.

SALEMI L., F., GROppo, J.D., TREVISAN R., MORAES, J., M., FERRAZ, S., F., B., VILLANI, J. P., DUARTE-NETO, P., J., MARTINELLI, L. A. 2013. Land-use change in the atlantic rainforest region: Consequences for the hydrology of small catchments. *Journal of Hydrology*. 499, 100-109.

SIDLE, R.C., OCHIAI, H. *Landslides: processes, prediction and land use*. Water Resources Monograph Series 18. American Geophysical Union. Washinton, D.C., 206. 317 p.

SILVA, R. P. Comportamento hidrológico de encosta em substrato rochoso granítico sob influência de deslizamento raso – Nova Friburgo, Rio de Janeiro. 2014. 154 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SILVEIRA, C. S.; BARBOSA, M., C., ; COELHO NETTO, A., L., A tracer experiment as an alternative methodology to understand infiltration pathway in a tropical rainforest soil. *Solos e Rochas*, São Paulo, v. 28, n.3, p. 261-270, 2005.

ZIMMERMANN, B., ELSENBEER, H., DE MORAES, J.M., 2006. The influence of land-use changes on soil hydraulic properties: implications for runoff generation. *For. Ecol. Manag.* 222, 29–38

ZIMMERMANN, B., ELSENBEER, H., 2009. The near-surface hydrological consequences of disturbance and recovery: a simulation study. *J. Hydrol. (Amst)* 364, 115–127.

ZWARTENDIJK, B.W., MEERVELD, H.J., GHIMIRE, C.P., BRUIJNZEEL, L.A., RAVELONA, M., JONES, J.P.G., 2017. Rebuilding soil hydrological functioning after swidden agriculture in eastern Madagascar. *Agric. Ecosyst. Environ.* 239, 101–111

