

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

TESE

**Caracterização Morfológica e Atributos Edáficos em
Voçorocas na Sub-Bacia do Ribeirão Cachimbal, RJ**

João Henrique Gaia Gomes

2021



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA –
CIÊNCIA DO SOLO**

**CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E ATRIBUTOS FÍSICOS E
QUÍMICOS DO SOLO EM VOÇOROCAS NA SUB-BACIA DO
RIBEIRÃO CACHIMBAL, RJ**

JOÃO HENRIQUE GAIA GOMES

Sob a Orientação do Professor
Marcos Gervasio Pereira

e Coorientação de
Márcio Rocha Francelino
e Sidinei Julio Beutler

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Área de concentração em Manejo do Solo e Qualidade Ambiental.

Seropédica - RJ
Fevereiro de 2021

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G633c Gaia-Gomes, João Henrique, 1991-
Caracterização morfológica e atributos físicos e
químicos do solo em voçorocas na sub-bacia do Ribeirão
Cachimbal, RJ / João Henrique Gaia-Gomes. -
Seropédica-RJ, 2021.
89 f.

Orientador: Marcos Gervasio Pereira.
Coorientador: Márcio Rocha Francelino.
Coorientador: Sidinei Julio Beutler.
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Ciência do Solo, 2021.

1. Recuperação de Áreas Degradadas. 2.
Monitoramento Ambiental. 3. Atributos do Solo. 4.
Remoção de Nutrientes do Solo. 5. Geotecnologias. I.
Gervasio Pereira, Marcos, 1965-, orient. II. Rocha
Francelino, Márcio, -, coorient. III. Julio Beutler,
Sidinei, -, coorient. IV Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em
Agronomia - Ciência do Solo. V. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

JOÃO HENRIQUE GAIA GOMES

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, área de Concentração em Manejo do Solo e Qualidade Ambiental.

TESE APROVADA EM 23/02/2021

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Conan Ayade Salvador. Dr. UFRRJ

Jean Sérgio Rosset. Dr. UEMS

Wilk Sampaio de Almeida. Dr. IFRO

Murilo Machado de Barros. Dr. UFRRJ

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, Manoel Gonçalo Gonçalves Batista, Emilce Gaia Batista e Maria Helena Gaia,
a Daniel de Souza Gaia (in memoriam)
ao meu orientador e grande amigo Marcos Gervasio,
aos familiares e amigos.*

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me proporcionado essa bela fase em minha vida, onde pude realizar um sonho.

À minha querida mãe, Sra. Maria Helena, por ter me auxiliado nessa caminhada.

À minha querida mãe de “criação”, Sra. Emilce, e ao meu pai de “criação”, Sr. Manoel Gonçalo, por todo amor dedicado a mim desde o dia que nasci, pelos ensinamentos, pela educação, pelo incentivo, por todo auxílio e colo.

Ao meu padrinho Márcio e família, a minha madrinha Maria Ediléia pelo carinho e auxílio, e aos meus tios Evaldo, Evandro e família, Eliézer e família, e Maria Elza pela dedicação em minha criação e preocupação com meus estudos.

As minhas queridas avós Maria das Dores (*in memorian*) e Maria Aparecida Elinéia que apesar das limitações da idade, sempre preocupadas e me auxiliando.

Ao meu orientador e grande amigo Marcos Gervasio Pereira pelos ensinamentos e pela amizade.

Ao meu primo Daniel Gaia (*in memorian*), meu maior motivador a vida, pois mesmo diante de um câncer esteve sempre sorridente lutando a cada dia por sua cura, mostrando a todos que para conseguirmos vencer na vida temos que ter perseverança e lutar, por mais que seja árduo o caminho, no fim sempre há uma luz.

Ao Sr^o. Hamilton Chagas e a Sr^a. Berenice Chagas, pelo carinho, dedicação, auxílio e tratamento.

A Sr^a. Nilcéa Gomes e a Sr^a. Camila Gomes, pelo carinho, dedicação e auxílio ao longo dessa caminhada.

Ao Alexandre Magalhães, grande amigo que o doutoramento me deu, sempre presente nos momentos de auxílio e conversas construtivas.

Aos órgãos financiadores da pesquisa: CAPES, CNPq, FAPERJ e PPGA-CS/UFRRJ.

Ao IFRJ Campus Nilo Peçanha, em especial ao Professor Dr. Carlos Eduardo Gabriel Menezes e ao Engenheiro Agrônomo Thiago Bernini pelos ensinamentos e auxílio na coleta.

Ao Professor Dr. Márcio Rocha Francelino pela coorientação e auxílio nas horas de dúvidas.

Ao Sidinei Julio Beutler pela paciência e auxílio em todos os momentos da tese, desde a coleta até o último esforço.

A todos os professores da UFRRJ, graduação e Pós-graduação, que muito contribuíram para minha formação.

Aos membros da banca examinadora, que muito tem a contribuir com a versão final dessa tese.

A Fabiana da Costa Barros e João Pedro Bessa Laranjeira, por todo auxílio nas análises realizadas.

Ao PPGA-CS e todos os professores e funcionários, pela estrutura de pesquisa, conhecimentos transmitidos e apoio no trabalho.

A essa linda Universidade que me proporcionou uma nova visão e enriquecimento da vida.

A todos meus sinceros agradecimentos!

BIOGRAFIA

João Henrique Gaia Gomes nasceu no dia 23 de fevereiro de 1991 na cidade de Campos dos Goytacazes, Estado do Rio de Janeiro, filho de Manoel Gonçalo Gonçalves Batista/Emilce Gaia Batista e José Pereira Gomes Neto/Maria Helena Gaia. Realizou o ensino fundamental na Escola Estadual Admardo Alves Torres e ensino médio no Centro Educacional Nossa Senhora Auxiliadora. Ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) em abril de 2009, no curso de Engenharia Agrícola e Ambiental no qual foi graduado Engenheiro Agrícola e Ambiental em janeiro de 2014. Foi aprendiz administrativo na IMBEG Engenharia LTDA no período de dezembro de 2011 a fevereiro de 2012. Monitor na Área de Máquinas Agrícolas e Energia na Agricultura no biênio 2012-2013. Estagiário do Laboratório de Gênese e Classificação de Solos do Instituto de Agronomia da UFRRJ em 2013. Bolsista de iniciação científica (Fundação Agrisus) nos anos de 2013 e 2014. Estagiário na Monitore Agriambiental-ME de junho de 2014 a dezembro de 2014. Em fevereiro de 2015 ingressou na Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho na Universidade Católica de Petrópolis/IPETEC. Em março de 2015 ingressou no programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, área de concentração em Meio Ambiente/Recuperação de Áreas Degradadas, onde foi representante dos discentes no biênio 2016-2017, obtendo o título de Mestre em Engenharia Agrícola e Ambiental. Em março de 2017 ingressou no programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo.

RESUMO GERAL

GAIA-GOMES, J. H. **Caracterização morfológica, atributos físicos e químicos do solo em voçorocas na da sub-bacia do ribeirão Cachimbal, RJ.** 2021. 89f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2021.

Em função de aspectos geomorfológicos associados às intensas precipitações ocorridas no verão, são comuns os problemas de degradação por processos erosivos e deslizamentos de encostas, ao longo de toda a extensão territorial brasileira. Nesse contexto, a região de Pinheiral-RJ apresenta-se com 88% de sua área classificada como de alta ou muito alta vulnerabilidade à erosão, com apenas 18 % de seu território sob cobertura florestal nativa em diferentes níveis de alteração e regeneração. A partir do exposto, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito dos atributos edáficos, a morfologia, e a estimativa de remoção de massa de solo e nutrientes em quatro voçorocas em diferentes estágios evolutivos, considerando-se também, uma escala temporal, período seco e chuvoso, com a finalidade de gerar informações que contribuam nos programas de recuperação de áreas degradadas. Foram selecionadas quatro voçorocas (uma em cada estágio evolutivo, sendo-as: inicial, juvenil, madura e senil), sendo realizadas coletas de amostras de solos deformadas e indeformadas nas camadas de 0,0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m, nas faces externas e internas das voçorocas, para a posterior realização das análises físicas e químicas. A partir da utilização de um Drone, foi obtida a imagem aérea e calculado o volume de solo removido em cada voçoroca. De posse dos resultados das análises supracitadas e do volume, foi realizada a estimativa de massa de solo e nutrientes removida das voçorocas, e em seguida, foi selecionada uma voçoroca e analisadas as principais modificações considerando-se os anos de 2017 e 2020. Foi possível verificar que os maiores valores para área, volume, densidade do solo (Ds) e massa de solo removida foram quantificados na voçoroca em estágio senil, quanto aos nutrientes maiores remoções foram verificadas para os teores de cálcio (Ca^{2+}) e carbono orgânico total (COT), magnésio (Mg^{2+}) na voçoroca em estágio juvenil e potássio (K^+) e sódio (Na^+) na em estágio inicial. O padrão de distribuição dos atributos físicos e químicos do solo nas voçorocas é influenciado pelos estágios evolutivos e as faces da superfície (interna e externa), na camada de 0-0,10 m, e somente quanto as faces na camada de 0,10-0,20 m. O estágio classificado como senil foi o que apresentou melhores condições edáficas em sua face interna. A quantidade de massa de solo removida aumenta em função do estágio evolutivo, porém a partir do momento em que há regeneração ou a presença de espécies arbustivas e/ou arbóreas, a remoção de massa de solo diminui. O uso de geotecnologias permite praticidade no levantamento de informações que podem subsidiar programas de recuperação de áreas degradadas.

Palavras-chave: Geotecnologias. Indicadores de qualidade do solo. Processos erosivos.

GENERAL ABSTRACT

GAIA-GOMES, J. H. **Morphological characterization and physical and chemical attributes of the soil in gullies in the Cachimbal river sub-basin, RJ.** 2021. 89f. Thesis (Doctorate in Agronomy - Soil Science). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2021.

Due to geomorphological aspects associated with the intense rainfall in Summer, degradation problems due to erosion and sliding landslides are common throughout the Brazilian territory. In this context, the Pinheiral-RJ region has 88% of its area classified as having high or very high vulnerability to erosion, with only 18% of its territory under native forest cover with different alteration and regeneration levels. Based on the above, the objective of this study was to evaluate the effect of edaphic attributes, morphology, and to estimate the removal of soil mass and nutrients in four gullies in different evolutionary stages, also considering a timescale, and dry and rainy periods, with the purpose of generating information to contribute to programs for recovering of degraded areas. Four gullies were selected, and disturbed and undisturbed soil samples were collected in the 0.0 - 0.10 and 0.10 - 0.20 m layers, on the external and internal sections of the gullies, for physical and chemical soil analysis. Aerial images were obtained by using a Drone, and the volume of soil removed in each gully was calculated. With the analyses of the results and the volume, an estimate of the soil mass and nutrients removed for the gullies was carried out. One gully was then selected, and the main changes were analyzed considering the years 2017 and 2020. It was possible to verify that the highest values for area, volume, bulk density (Bd) and soil mass removed were quantified in the gully at senile stage. As for the nutrients the greatest removals were verified for the levels of calcium (Ca^{2+}) and total organic carbon (TOC), magnesium (Mg^{2+}) in the juvenile stage gully, and for potassium (K^+) and sodium (Na^+) in the early-stage gully. The distribution pattern of the physical and chemical soil attributes in the gullies was influenced by the evolutionary stages and the surface sections (internal and external), in the 0-0.10 m layer, and only as far as the sections in the 0.10-0.20 m layer. The stage classified as senile presented the best edaphic conditions on its internal section. The amount of soil mass removed increases according to the evolutionary stage; however, from the moment there is regeneration or the presence of shrub and / or tree species, the removal of soil mass decreases. The use of geotechnologies allows practicality in gathering information that can subsidize programs for the recovery of degraded areas.

Key words: Geotechnologies. Soil quality indicators. Erosive processes.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos edáficos quantificados nas diferentes voçorocas.....	24
Tabela 2. Massa dos atributos químicos e físicos do solo removidos.....	25
Tabela 3. Distribuição da radiação solar (KWH/m ² /ano).....	44
Tabela 4. Distribuição da superfície de curvatura em classes.....	51
Tabela 7. Valores das correlações entre os atributos químicos e físicos do solo e os eixos na camada de 0-0,10 m nos estágios analisados.	56
Tabela 8. Médias dos atributos químicos do solo das voçorocas em estágio Inicial, Juvenil, Madura e Senil, na camada de 0,10-0,20 m nas face interna (I) e externa (E).....	58
Tabela 9. Médias dos atributos físicos do solo das voçorocas em estágio Inicial, Juvenil, Madura e Senil, na camada de 0,10-0,20 m nas face interna (I) e externa (E).....	59
Tabela 10. Valores das correlações entre os atributos químicos e físicos do solo e os eixos na camada de 0,10-0,20 m nos estágios analisados.	60
Tabela 11. Valores dos atributos: área, volume, Ds e quantificação de massa de solo removida nos dois anos.	83
Tabela 12. Valores médios de massa de nutrientes removida no ano de 2017.	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de VANT Echar 20C. Fonte: https://www.xmrobots.net/echar-20c	8
Figura 2. Modelo de VANT Arator 5A. Fonte: https://www.xmrobots.net/arator-5a	8
Figura 3. Modelo de VANT Nauru 500B. Fonte: https://www.xmrobots.net/nauru-500b	9
Figura 4. Modelo de VANT Batmap 2. Fonte: http://batmap.com.br/batmap-2/	9
Figura 5. Modelo de VANT Aibotix X6. Fonte: https://aibotix.com/nl-nl/products/aibot-x6	10
Figura 6. Modelo de VANT Parrot Disco. Fonte: www.parrot.com/drones/parrot-disco-fpv	11
Figura 7. Formas da secção transversal das voçorocas em V e U. Fonte: Adaptado de Dobek et al. (2011).	14
Figura 8. Sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Cachimbal, Pinheiral - RJ. Fonte: Adaptado de Gaia-Gomes et al. (2018).	15
Figura 9. Mapa de altimetria da sub – bacia do ribeirão Cachimbal – RJ. Fonte: Adaptado de Gaia-Gomes (2017).	16
Figura 10. Mapa de declividade da sub – bacia do Ribeirão Cachimbal – RJ. Adaptado de Gaia-Gomes (2017).	17
Figura 11. Paisagem de Mar de Morros. Fonte: João Henrique Gaia Gomes (2018).	18
Figura 12. Modelo digital de elevação de superfície de curvatura (MDESC) da Sub-bacia do Ribeirão Cachimbal, Pinheiral - RJ. Fonte: Gaia-Gomes (2017).	19
Figura 13. Vertente de exposição selecionada e a disposição das voçorocas (1-Madura, 2-Senil, 3-Juvenil, 4-Inicial) em 17 de Maio de 2017. Fonte: João Henrique Gaia Gomes (2017).	20
Figura 14. Coleta de amostras indeformadas (a), deformadas (b) e faces da voçoroca (c). Fonte: João Henrique Gaia Gomes (2018).	21
Figura 15. Análise granulométrica. Fonte: João Henrique Gaia Gomes (2018).	22
Figura 16. Plano de voo sistematizado com posicionamento previamente definido (a) e Drone Modelo Phanthom 4 (b). Fonte: João Henrique Gaia Gomes (2017).	22
Figura 17. Triangulação de pontos chaves para confecção da ortofoto. Fonte: Pix4Dmapper Pro versão 4.1.10 (2018).	23
Figura 18. Polígonos preenchendo as dimensões das voçorocas. Fonte: Pix4Dmapper Pro version 4.1.10 (2018).	23
Figura 19. Erosão entressulcos. Fonte: jornalagricola.wordpress.com . Acesso em 26/08/2018.	38
Figura 20. Erosão na forma de sulcos. Fonte: Adaptado de Gaia-Gomes (2017).	38
Figura 21. Erosão na forma de ravina. Fonte: http://conservandoosolo.blogspot.com.br . Acesso em 15/08/2018.	39
Figura 22. Erosão na forma de voçoroca. Fonte: Adaptado de Gaia-Gomes (2017).	39
Figura 23. Mapa de orientação de vertentes da sub - bacia do ribeirão Cachimbal. Fonte: Adaptado de Gaia-Gomes (2017).	43

- Figura 24.** Mapa da radiação solar global da sub - bacia do ribeirão Cachimbal. Fonte: Adaptado de Gaia-Gomes (2017). 44
- Figura 25.** Análise dos componentes principais para as variáveis químicas e físicas do solo nos quatros estágios evolutivos e faces interna e externa das voçorocas na profundidade de 0-10 cm. II- face interna do estágio inicial, IE- face externa do estágio inicial, JI- face interna do estágio juvenil, JE- face externa do estágio inicial, MI- face interna do estágio madura, ME- face externa do estágio madura, SI- face interna do estágio senil, SE- face externa do estágio senil; Mg: Magnésio; H+Al: Hidrogênio +Alumínio; Valor T: Capacidade de troca catiônica; V (%): Saturação por bases; Densidade do solo; Dp: Densidade de partículas; Vtp: Volume total de poros; COT: Carbono orgânico total. 56
- Figura 26.** Análise dos componentes principais para as variáveis químicas e físicas do solo nos quatros estágios evolutivos e ambientes interno e externo das voçorocas na profundidade de 10-20 cm. II- face interna do estágio inicial, IE- face externa do estágio inicial, JI- face interna do estágio juvenil, JE- face externa do estágio inicial, MI- face interna do estágio madura, ME- face externa do estágio madura, SI- face interna do estágio senil, SE- face externa do estágio senil; pH: pH em água; Al: Alumínio; H+Al: Hidrogênio +Alumínio; Valor T: Capacidade de troca catiônica; V (%): Saturação por bases. 60
- Figura 27.** Distribuição da chuva (precipitação anual) nos últimos 30 anos. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (2021) <https://www.climatempo.com.br/climatologia/3251/pinheiral-rj> 79
- Figura 28.** Voçorocas (1-Madura, 2-Senil, 3-Juvenil, 4-Inicial) em 17 de Maio de 2017. Fonte: João Henrique Gaia Gomes (2017). 80
- Figura 29.** Voçorocas (1-Madura, 2-Senil, 3-Juvenil, 4-Inicial) em 17 de Maio de 2017. Fonte: João Henrique Gaia Gomes (2017). 81
- Figura 30.** Dados climatológicos de maio e novembro em 2017 e fevereiro em 2020. Fonte: INMET (2020). 82

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
1. CAPÍTULO I:.....	2
CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E QUANTIFICAÇÃO DE MASSA DE SOLO REMOVIDA EM VOÇOROCAS NA SUB - BACIA DO RIBEIRÃO CACHIMBAL, PINHEIRAL – RJ.....	2
2.1. RESUMO	3
2.2. ABSTRACT	4
2.3. INTRODUÇÃO.....	5
2.4. REVISÃO DE LITERATURA	6
2.4.1. Utilização de geotecnologias no levantamento de dados	6
2.4.2. Classificação e características de veículos aéreos não tripulados (VANTs).....	6
2.4.3. Modelos de VANTs nacionais.....	7
2.4.4. Modelos de VANTs internacionais	9
2.4.5. Limitações e benefícios do uso de VANTs na avaliação de processos erosivos....	11
2.4.6. Fatores que podem influenciar na resolução espacial e reduzir incerteza de medição	12
2.4.7. Processos erosivos oriundos da erosão hídrica.....	13
2.4.8. Morfologia de voçorocas	13
2.5 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
2.5.1. Localização da área de estudo	15
2.5.2. Caracterização do meio físico.....	15
2.5.3. Mapeamento e classificação qualitativa das voçorocas.....	18
2.5.4. Classificação morfológica das voçorocas.....	19
2.5.5. Coletas de amostras de terra	20
2.5.6. Análises de solo	21
2.5.7. Análises dos atributos químicos do solo	21
2.5.8. Análises dos atributos físicos do solo.....	21
2.5.9. Voo sistematizado e quantificação de massa de solo e de atributos edáficos removidos utilizando o drone modelo Phantom 4.....	22
2.6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
2.7. CONCLUSÕES	28
2.8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
3. CAPÍTULO II:.....	33
ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM DIFERENTES AMBIENTES E ESTÁGIOS EVOLUTIVOS DE VOÇOROCAS EM PEDOFORMA CONVEXA, SUB - BACIA DO RIBEIRÃO CACHIMBAL, PINHEIRAL – RJ.....	33
3.1. RESUMO	34
3.2. ABSTRACT	35
3.3. INTRODUÇÃO.....	36
3.4. REVISÃO DE LITERATURA	37
3.4.1. Bacias hidrográficas	37
3.4.2. Erosão hídrica.....	37
3.4.3. Principais fatores do meio físico que afetam os processos erosivos	40
3.4.4. Fatores relacionados ao solo e manejo que afetam os processos erosivos	44
3.4.5. Estudos relacionados a processos erosivos na área da sub-bacia	47
3.4.6 Importância da abordagem de processos erosivos na política de conservação de solos e na qualidade dos recursos hídricos	47

3.5. MATERIAL E MÉTODOS.....	49
3.5.1. Localização da área de estudo	49
3.5.2. Caracterização do meio físico.....	49
3.5.3. Mapeamento e classificação qualitativa das voçorocas.....	49
3.5.4. Classificação morfológica das voçorocas.....	49
3.5.5. Coletas das amostras de terra e amostragem	49
3.5.6. Análises de solo	49
3.5.7. Análises dos atributos químicos do solo	49
3.5.8. Análises dos atributos físicos do solo.....	50
3.5.9. Análise estatística	50
3.6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
3.7. CONCLUSÕES	61
3.8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
CAPÍTULO III:	74
GEOTECNOLOGIAS APLICADAS A ANÁLISE QUANTITATIVA DE REMOÇÃO DE MASSA DE SOLO E DE NUTRIENTES EDÁFICOS EM VOÇOROCAS NA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO CACHIMBAL, PINHEIRAL – RJ	74
4.1. RESUMO	75
4.2. ABSTRACT	76
4.3. INTRODUÇÃO.....	77
4.4. REVISÃO DE LITERATURA	78
4.5. MATERIAL E MÉTODOS.....	79
4.5.1. Localização da área de estudo	79
4.5.2. Caracterização do meio físico.....	79
4.5.3. Mapeamento e classificação qualitativa das voçorocas.....	79
4.5.4. Classificação morfológica das voçorocas.....	79
4.5.5. Coletas das amostras de terra e amostragem	79
4.5.6. Análises de solo	80
4.5.7. Análises dos atributos químicos do solo	80
4.5.8. Análises dos atributos físicos do solo.....	80
4.5.9. Voo sistematizado e quantificação de massa de solo e de nutrientes edáficos removidos utilizando drone nos anos de 2017 e 2020.....	80
4.6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
4.7. CONCLUSÕES	85
4.8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
5. CONCLUSÕES GERAIS	88
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	89

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os processos erosivos em estágio avançado levam a formação de feições que podem ser denominadas de voçorocas, que são caracterizadas como depressões profundas, circundadas por vertentes quase verticais, que se alargam nas proximidades das cabeceiras devido à intensa atividade erosiva regressiva, e se afunilam junto à foz do curso d'água que a percorre, cortando sedimentos de fraca coesão, sem apresentar forte declive longitudinal. Esse padrão é observado com frequência no ambiente de “Mar de Morros” no Bioma Mata Atlântica decorrente do histórico de uso e ocupação intensificado pelas as condições climáticas e topográficas.

O município de Pinheiral, localizado na região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, apresenta-se com 88% de sua área estando nas classes de alta ou muito alta vulnerabilidade à erosão, o maior índice entre todos os municípios fluminenses (Menezes, 2008). Em função do histórico de ocupação e uso de suas terras, apenas 18 % de seu território apresenta cobertura florestal nativa em diferentes níveis de alteração e regeneração, no qual a constante retirada da cobertura vegetal, associada às práticas agrícolas inadequadas, contribuem para o agravamento dos processos erosivos, favorecendo em sua maioria para o surgimento de voçorocas.

Diante disso, ressalta-se a importância de estudos que contribuam para uma maior compreensão dos processos de degradação, visto que, poucos são aqueles relacionados a essa temática, e associados a aplicação de geotecnologias de última geração, como drones, e utilizando-os na análise da dinâmica da água, na estimativa de perda de massa de solo e nutrientes e nas classificações morfológicas de processos erosivos.

Desse modo, partindo da hipótese de que os atributos edáficos de voçorocas em quatro estágios evolutivos (inicial, juvenil, madura e senil) apresentem padrões diferenciados, bem como a dinâmica da água e a perda de massa de solo e nutrientes, o objetivo geral do estudo foi avaliar o efeito dos processos erosivos nos atributos do solo, na morfologia e na estimativa de remoção de massa de solo e nutrientes das quatro voçorocas considerando diferentes tempos de formação, e avaliação em escala temporal, com a finalidade de gerar informações que contribuam nos programas de recuperação de áreas degradadas.

Para se alcançar o objetivo geral do estudo foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Selecionar quatro voçorocas em superfície convexa em diferentes estágios evolutivos;
- Classificar morfologicamente as voçorocas e os respectivos estágios evolutivos;
- Quantificar e avaliar a variabilidade dos atributos físicos e químicos nas voçorocas em diferentes graus de evolução;
- Quantificar a remoção de massa de solo e nutrientes em diferentes estágios evolutivos a partir da utilização de imagens aéreas; e,

O estudo foi dividido em capítulos, identificados a seguir:

Capítulo I – Caracterização morfológica e quantificação de atributos edáficos em voçorocas ocorrentes na sub-bacia do Ribeirão Cachimbal, Pinheiral – RJ;

Capítulo II – Atributos físicos e químicos do solo em voçorocas na sub-bacia do Ribeirão Cachimbal, Pinheiral – RJ; e,

Capítulo III – Geotecnologias aplicadas a análise quantitativa de remoção de massa de solo e nutrientes edáficos em voçorocas na sub-bacia do Ribeirão Cachimbal, Pinheiral – RJ.

1. CAPÍTULO I

CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E QUANTIFICAÇÃO DE MASSA DE SOLO REMOVIDA EM VOÇOROCAS NA SUB - BACIA DO RIBEIRÃO CACHIMBAL, PINHEIRAL – RJ

2.1. RESUMO

O objetivo deste estudo foi classificar, quantificar e avaliar os atributos físicos de voçorocas com diferentes estágios morfológicos, presentes na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Cachimbal, Pinheiral –RJ. As voçorocas foram classificadas quanto sua morfologia, em inicial, juvenil, madura e senil. Foram coletadas amostras deformadas nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m e amostras indeformadas, com auxílio de um anel de Kopeck na camada de 0-0,10 m cm na face interna de cada voçoroca. Foram realizadas análises para avaliação da fertilidade, carbono orgânico total (COT), densidade do solo (Ds) e granulometria. Posteriormente foi realizado um voo sistematizado utilizando um drone sobre as voçorocas. De posse dos dados químicos, físicos e das dimensões das voçorocas, foram calculadas as quantidades de massa de solo e de nutrientes removidos. Foi verificado que os maiores valores de área, volume, Ds e massa de solo removida foram quantificados na voçoroca em estágio senil. Os maiores valores removidos de cálcio (Ca^{2+}) e COT foram verificados na voçoroca em estágio senil, já os de magnésio (Mg^{2+}), na juvenil e potássio (K^+) e sódio (Na^+) na voçoroca em estágio inicial. Os menores valores para os atributos: areia total, areia fina, areia grossa, argila total e argila natural, foram verificados na voçoroca em estágio senil. Tais observações poderão contribuir na elaboração das ações de recuperação de área degradadas nessa região.

Palavras-chave: Drone. Erosão. Indicadores de qualidade do solo.

2.2. ABSTRACT

The objective of this study was to classify, quantify and evaluate the physical attributes of gullies with different morphological stages, present in the Ribeirão Cachimbal sub-basin, Pinheiral –RJ. Gullies were classified according to their morphology, in initial, juvenile, mature and senile. Deformed samples were collected in the 0-0.10 m and 0.10-0.20 m layers and undeformed samples, with the aid of a Kopeck ring in the 0-0.10 m cm layer on the inner face of each gullet. Analyzes were carried out to assess fertility, total organic carbon (TOC), soil density (Ds) and granulometry. Subsequently, a systematic flight was carried out using a drone over the gullies. With the chemical, physical data and dimensions of the gullies, the amounts of soil mass and nutrients removed were calculated. It was verified that the highest values of area, volume, Ds and soil mass removed were quantified in the gullet in senile stage. The highest values of calcium (Ca^{2+}) and TOC were found in the senile stage gullet, magnesium (Mg^{2+}), juvenile and potassium (K^+) and sodium (Na^+) in the early-stage gullet. The lowest values for the attributes total sand, fine sand, coarse sand, total clay and natural clay were verified in the gullet in senile stage. Such observations may contribute to the elaboration of actions to recover degraded areas in this region.

Key words: Drone. Erosion. Soil quality indicators.

2.3. INTRODUÇÃO

A erosão hídrica contribui de maneira significativa para a degradação dos solos ao redor do mundo, sendo considerada por Bogunovic et al. (2018) como um dos principais fatores para a degradação do solo. Durante o processo, a energia cinética e de impacto das gotas de água da chuva promovem a desestruturação dos agregados, que é condicionado pela intensidade da precipitação pluviométrica, tipo de solo, uso e ocupação do solo, e topografia, tendo como principais consequências à degradação ambiental, diminuição da fertilidade do solo, redução na capacidade de infiltração e armazenamento de água, sedimentação em reservatórios e rios, poluição da água, destruição de ecossistemas e aumento da ocorrência de enchentes (Zhang et al., 2018).

De maneira geral, os processos erosivos iniciam-se na forma de erosão linear e evoluem para laminar, até atingirem o estágio mais avançado, denominado de voçoroca. As voçorocas apresentam diferentes padrões, podendo ser classificadas quanto à sua morfologia em: inicial, juvenil, madura e senil (Oka-Fiori; Soares, 1976; Dobek et al., 2011; Queiroz, 2011). Esse fenômeno erosivo proporciona grandes perdas nos aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Com os avanços tecnológicos na área das geotecnologias e de sistema de informação geográfica (SIG), a utilização de equipamentos como GPS Geodésico, Veículo aéreo não tripulável (VANTE), Georadar, Drone e Laser Escanner, vem crescendo mundialmente. O uso desses equipamentos auxilia nos estudos que visam viabilizar o fornecimento de informações para recuperação de áreas degradadas, estudo de impactos ambientais e de susceptibilidade a erosão. Fernandez et al (2018) ao estudarem a bacia hidrográfica do rio Darro, localizado no sul da Espanha, com a finalidade de avaliar o uso do SIG, na gestão e restauração florestal, verificaram que o uso de geotecnologias proporciona resultados exatos, em menor tempo e custo por unidade de área de estudo.

A partir do exposto, esse estudo teve como hipótese de que a perda de nutrientes e solo apresentam variação em função do grau de senilidade das voçorocas. Desse modo, o presente estudo teve como objetivo classificar, quantificar e avaliar os atributos físicos e químicos das voçorocas com diferentes morfologias.

2.4. REVISÃO DE LITERATURA

2.4.1. Utilização de geotecnologias no levantamento de dados

As geotecnologias consistem em um conjunto de ferramentas que podem englobar o conhecimento nas áreas de Sistema de Informação Geográfica (SIG), Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento Global (GPS), Fotogrametria, Geoestatística e Topografia. São conhecidas e referenciadas também como tecnologias espaciais de geoprocessamento relacionadas a geociências que viabilizam o avanço tecnológico no planejamento, gestão e manejo ambiental (Menezes et al., 2017), com a finalidade levantar, processar e analisar dados, a partir de imagens orbitais ou de alta resolução. A partir delas, é possível realizar a análise temporal dos recursos terrestres, apresentando os ambientes naturais e suas transformações, expondo os danos oriundos de fenômenos naturais ou ações antrópicas.

Segundo Menezes et al. (2012) e Ponzoni (2015) o sensoriamento remoto é uma técnica de obtenção de imagens da superfície terrestre sem que haja contato físico entre o sensor e o objeto, e consiste na utilização de sensores, equipamentos e aeronaves, com o objetivo de levantar informação da superfície terrestre, relacionando os recursos ambientais e as alterações antrópicas.

Borges et al. (2017) ao aplicar o sensoriamento remoto na identificação de impactos ambientais no Distrito de Abrantes, Camaçari-BA, verificaram que a partir das imagens geradas, foi possível visualizar diversos conflitos de cunho ambiental, evidenciando a grande relevância da utilização e aplicação prática do sensoriamento remoto para auxiliar o planejamento ambiental e tomadas de decisões no planejamento territorial.

2.4.2. Classificação e características de veículos aéreos não tripulados

Os veículos aéreos não tripulados são classificados de acordo com Barreto (2016) e Camargo (2018) em: aeronave remotamente pilotada (RPA) e aeromodelo.

Os VANTs são considerados pelos órgãos reguladores brasileiros como aeronaves que não precisam do piloto a bordo, não possuem caráter recreativo e possuem carga útil embarcada. Segundo Camargo (2018), os VANTs podem ser classificados como RPA ou aeronave autônoma. No caso da RPA, o voo é controlado a partir de uma estação de controle pré-definida em terra, com o auxílio de um computador, enquanto que na aeronave autônoma, o voo é realizado mediante ao seu plano de voo, não sendo possível de alterá-lo.

De acordo com o autor supracitado, a Agência Nacional de Aviação Civil brasileira (ANAC) aborda o termo drone comparando-o entre outros dois, sendo eles: o RPA, onde a aplicação consiste em uma atividade experimental e comercial, sendo realizada através de uma estação de pilotagem remota; e o aeromodelo, no qual consiste em uma aeronave remotamente pilotada com única finalidade recreativa.

Os VANTs possuem capacidade de voo autônomo e facilidade de georreferenciamento de imagens, quando comparados aos aeromodelos, porém ambos necessitam de um sistema de posicionamento global embarcado (GNSS).

A aplicabilidade do VANT varia conforme as suas características e a necessidade de uso. Ao avaliar qual modelo utilizar, é necessário considerar características como: alcance, velocidade, robustez, autonomia e viabilidade econômica. No mercado geotecnológico atual, a variedade de VANTs é grande, os quais são divididos em grupos conforme apresenta Bernardi et al. (2014): quanto a plataforma (asa fixa ou rotativa) ou quanto a capacidade de alcance e altura; e Medeiros (2007): quanto a plataforma (asa fixa, rotativa e dirigível). Contudo, o último autor ressalta que na escolha de um VANT deve-se verificar as os benefício e limitações encontrados frente ao procedimento operacional do equipamento, custo do equipamento,

capacidade frente à fatores climáticos, facilidade no transporte do equipamento, e estabilidade de voo.

Dentre os modelos de asa rotativa tem-se o multirotor e o formato de helicóptero. Os VANTs em formato de helicóptero ainda são utilizados para aquisição de dados remotos, porém por apresentarem o custo elevado, está diminuindo o seu interesse comercial. Em comparação com as demais plataformas, o multirotor apresenta vantagens no sistema de controle operacional, com voos mais estáveis; possuem tamanho compacto e são mais leves; custo operacional reduzido e facilidade de transporte, porém são menos robustos e possuem autonomia de voo baixa. São VANTS utilizados para aplicações que não demandem de muito tempo de execução, para áreas com dimensões pequenas e de médio porte, que não dependem de muito espaço para o pouso e decolagem (diferente dos modelos como os de asa fixa) (Bernardi et al., 2014).

Os VANTs, quanto a altitude e o alcance são definidos como: de mão, aqueles que apresentam capacidade de voo de até 600 m de altitude e alcance de no máximo 2 km; curto alcance, com até 1,5 km de altitude e 10 km de alcance; OTAN, com até 3 km de altitude e até 50 km de alcance; Tático com até 5,5 km de altitude e alcance de 160 km; média altitude, com até 9 km de altitude e alcance de até 200 km; alcance longo com altitudes de até 9,2 km e alcance indefinido; hipersônico, para altitudes de até 15,2 km e alcance de até 200 km (Bernardi et al., 2014).

O mercado nacional possui alguns modelos disponíveis, porém o desenvolvimento de tecnologias de ponta e os investimentos constantes na cadeia de produção internacional, tem possibilitado a produção de VANTs com mais tecnologia aplicada e que forneçam maior aplicabilidade. Desse modo, nos tópicos seguintes são apresentados os principais modelos de VANTs, presentes atualmente no mercado mundial.

2.4.3. Modelos de VANTs de fabricantes nacionais

O mercado nacional de VANTs ainda é restrito a investimentos mais elevados para esse tipo de tecnologia. Dentre as principais empresas nacionais tem-se: Xrobots, Nuvem UAV, BRVANT, Brasil Aircrafts, e a Skydrones. Entretanto serão apresentados os principais modelos comercializados pelas empresas Xrobots e Nuvem UAV, pois são as que mais se destacam entre as demais no país.

a) Echar 20C

O Echar 20C (Figura 1) é fabricado pela empresa brasileira Xrobots, e consiste em um equipamento robusto de médio porte. Esse modelo apresenta estrutura fortificada com kelvar (resistente a impactos), alcance lateral de 30 km, velocidade de cruzeiro de 75 km/h, peso máximo de decolagem de 7,5 kg, autonomia de 1 h e 56 min, teto operacional de 3 km, compatível com as câmeras Full Frame de 36 Megapixels ou RGB APSC/Nir de 24 Megapixels e valor de mercado em torno de 54 mil dólares. Adicionalmente, ressalta-se que o Echar 20C necessita de um sistema de decolagem acionado por uma catapulta devido ao seu peso elevado, o que também dificulta o seu transporte em áreas de difícil acesso, pouso e decolagem.



Figura 1. Modelo de VANT Echar 20C. Fonte: <https://www.xmrobots.net/echar-20c>.

b) Arator 5A

O Arato 5A (Figura 2) é fabricado pela empresa Xmrobots, e trata-se de um equipamento de pequeno porte, menos robusto, quando comparado aos demais modelos fabricados pela empresa. Sua estrutura é do mesmo material do modelo Echar 20C, possui alcance lateral de 10 km, velocidade de cruzeiro de 58 km/h, peso máximo de decolagem de 3,3 kg, autonomia de 58 min, teto operacional de 3 km, compatível com as câmeras RGB CCD 1/2, 3 de 20 Megapixels, com resolução máxima de 3 cm/pixel; RGB CMOS APS de 24 Megapixels, com resolução máxima de 1,5 cm/ pixel; e apresenta valor de mercado em torno de 20 mil dólares.



Figura 2. Modelo de VANT Arator 5A. Fonte: <https://www.xmrobots.net/arator-5a>.

c) Nauru 500B

O modelo Nauru 500B (Figura 3) também é fabricado pela empresa Xmrobots. Trata-se de um modelo muito robusto que possui a capacidade de sobrevoar áreas com grandes dimensões, apresentando as seguintes características: alcance lateral de 36 km, velocidade de cruzeiro de 10 km/h, peso máximo de decolagem de 25 kg, autonomia de 7 h, teto operacional de 3 km, compatível com as câmeras Sony 5100 de 24MPixels com sensor APSC GNir, e Camera Sony Alfa7R de 36MPixels com sensor Fullframe RGB e valor de mercado em torno de 115 mil dólares.



Figura 3. Modelo de VANT Nauru 500B. Fonte: <https://www.xmrobots.net/nauru-500b>.

d) Batmap 2

O modelo Batmap 2 (Figura 4) é fabricado pela empresa Nuvem UAV Indústria de aeronaves LTDA, que foi fundada em 2011. Consiste em um equipamento de pequeno porte, peso de decolagem de 3,1 kg (pouco robusto), alcance lateral de 10 km, velocidade de cruzeiro de 45 km/h, autonomia de 2 h e 30 min, teto operacional de 3 km de altitude, compatível com as câmeras multiespectral Micasense Red Edge, Multiespectral Parrot Sequoia, Hiperespectral Gamaia Oxy, Termal Flir Vue PRO R, G – R – NIR Sony a6000 e valor de mercado em torno de 22 mil dólares.



Figura 4. Modelo de VANT Batmap 2. Fonte: <http://batmap.com.br/batmap-2/>.

2.4.4. Modelos de VANTs de fabricantes internacionais

a) Dji Phantom 4 e Dji S900

A Dji é uma empresa que desde de 2006 vem atuando no mercado de VANTs, oferecendo equipamentos mais simples até os mais robustos. Os modelos mais conhecidos e utilizados da Dji são o Phantom 4 e o S900 (Figura 5a e 5b). O Phantom 4 trata-se de um modelo multirotor quadricóptero de pequeno porte, é de fácil operação e mais acessível financeiramente. O Phantom 4 possui alcance lateral de 7 km, velocidade de cruzeiro de 72 km/h, peso máximo de decolagem de 1,3 kg, autonomia de 30 min, teto operacional de 6 km de altitude, câmera DJI de 20 MPixels do sensor CMOS acoplada e valor de mercado em torno de 2 mil dólares.

O Modelo S900 é um hexacóptero, fabricado em fibra de carbono, com menor peso e maior resistência. Ao compará-lo com o Phantom 4, apresenta maior robustez podendo levantar em voo até 8,2 kg, possui autonomia reduzida de 18 min e valor de mercado de 4 mil dólares.



Figura 5. Modelos de VANT: a) Dji Phantom 4; e b) Dji S900. Fonte: www.dji.com/products.

b) Aibotix X6

O Aibotix X6 (Figura 6) foi desenvolvido pela empresa Alemã Aibotix GmbH, em 2010. Possui as seguintes características: é revestido de fibra de carbono, com alcance lateral de até 1km, velocidade de cruzeiro de 40 km/h, peso máximo de decolagem de 6,0 kg, autonomia de 20 min, teto operacional de 3 km de altitude, compatível com as câmeras Sony ILCE-7R, Workswell WIRIS 640, Parrot Sequoia, Headwall Nano-Hyperspec, e, valor de mercado em torno de 29 mil dólares.



Figura 5. Modelo de VANT Aibotix X6. Fonte: <https://aibotix.com/nl-nl/products/aibot-x6>.

c) Parrot Disco

O modelo Parrot Disco (Figura 7) é a única plataforma de asa fixa lançada pela empresa Parrot. Apresenta pouca robustez (peso máximo de decolagem de 0,75 kg), possui velocidade

de cruzeiro de 72 km/h, autonomia de 45 minutos, alcance lateral de 2 km, compatível com a câmera Câmera full HD de 1080 Pixels e valor de mercado em torno de 2 mil dólares. A estabilidade da plataforma é mantida por meio do mecanismo de estabilidade nas mudanças de direção (anti-stall).



Figura 6. Modelo de VANT Parrot Disco. Fonte: www.parrot.com/drones/parrot-disco-fpv.

2.4.5. Limitações e benefícios do uso de VANTs na avaliação de processos erosivos

Com o passar dos anos e o avanço das tecnologias e técnicas de mapeamento por sensoriamento remoto direcionada aos processos erosivos, é possível obter resultados com maior exatidão, visto que a utilização de VANTs viabilizam a obtenção de imagens com elevada resolução espacial, quando comparadas a imagens orbitais (Faria et al., 2017). Ao comparar as imagens provenientes de VANTs com as obtidas por satélites (imagens orbitais), e receptores GNSS ou com scanners a laser, podem ser consideradas limitações e benefícios, tais como:

- ✓ Sensores orbitais apresentam capacidade máxima de resolução espacial (pixel) de 1 m (IKONOS), 5 m (Rapideye) e 30 m (World View III), enquanto os VANTs apresentam imagens com capacidade de atingir pixels de 1 cm ou menos;
- ✓ A presença de nuvens inviabiliza a utilização de imagens orbitais;
- ✓ Em estudos que consideram a avaliação temporal, o uso de imagens orbitais pode-se tornar inviável devido ao tempo de revista de alguns satélites;
- ✓ Em dias de baixa luminosidade, a qualidade da imagem capturada é inferior a dias ensolarados;
- ✓ Em dias com ventos fortes, não é recomendado a realização de voos com VANTs, visto que pode danificar o equipamento;
- ✓ Imagens de VANTs com elevado número de informações necessitam de computadores com elevada capacidade de processamento de dados, o que se tratando de imagens orbitais o número de informações disponíveis na imagem é reduzido;
- ✓ VANTs apresentam baixo custo operacional e flexibilidade de configuração quando comparados a aquisição de imagens com os aviões pilotados; e,
- ✓ VANTs possibilitam a captura de todas as informações na superfície, quando comparados a receptores GNSS com elevada precisão ou com scanners a laser, devido ao difícil acesso aos locais de levantamento.

Os autores supracitados e Cruz et al. (2011) afirmam que a partir do uso do VANT é possível gerar Modelos Digitais de Superfície (MDS), do Terreno (MDT) e ortomosaicos, que podem ser utilizados no mapeamento e mensuração do processo erosivo. Esses modelos fornecem resultados com elevada exatidão, e que permitam subsidiar o planejamento de recuperação ambiental.

Ao analisar a dinâmica erosiva de processos tropicais na bacia do rio Araguaia-GO utilizando VANT, Faria et al. (2017), verificaram que a voçoroca estudada se apresentava em processo de estabilização, e que a partir do uso dessa ferramenta geotecnológica foi possível mensurar e caracterizar morfologicamente a voçoroca em toda a superfície. Padrão similar foi observado por Salgado (2016) ao realizar o mapeamento de voçorocas utilizando geotecnologia de levantamento por VANT no município de Ouro Preto-MG, onde verificou que a tecnologia possibilita realizar estudos sequenciais com a finalidade de identificar a evolução do processo erosivo, uma vez que esse levantamento permite um alto nível de detalhamento.

Getzin et al. (2011) afirmam que os VANTs por realizarem voos em baixa altitude, podem fornecer imagens de alta resolução espacial, contribuindo para o mapeamento e monitoramento de recursos naturais, zonas de manejo e outros ambientes em um nível de detalhes dificilmente obtidos em outros métodos. Os VANTs também podem ser utilizados na pulverização de produtos químicos nas lavouras, monitoramento de linhas de transmissão, dutos, tráfego terrestre, e segurança pública (Rodrigues et al., 2015).

2.4.6. Fatores que podem influenciar na resolução espacial e reduzir incerteza de medição

Algumas considerações devem ser realizadas a fim de garantir a resolução espacial desejada e minimizar as incertezas nas medições quando se utiliza VANTs. Na fase do planejamento de voo são levantados as informações e fatores a serem considerados para minimizar possíveis problemas que venham a comprometer a qualidade da imagem a ser gerada, sendo eles: finalidade do voo, dimensões da área, velocidade do vento, especificações da câmera, resolução radiométrica do sensor (multiespectral), plataforma de voo (asa fixa ou rotativa), autonomia de voo, e principalmente altura do voo e o tamanho do pixel desejado (GSD -*Ground Sample Distance*) (Jensen, 2009).

A partir da resolução radiométrica do sensor é possível verificar as variações de energia, e armazenar as informações verificadas em tons de cinza (número de bits) distribuídos pelos pixels da imagem (Barreto, 2016). Esse parâmetro refere-se à capacidade do sistema sensor em detectar as variações da radiação espectral recebida. A radiação de cada pixel passa por uma codificação digital, obtendo um valor numérico, expresso em bits (Schowengerdt, 1983).

A plataforma fixa ou rotativa, é selecionada conforme a necessidade do trabalho a ser realizado, visto que interfere no rendimento operacional do VANT, determinando a sua potencialidade de recobrimento e velocidade de operação. Atrelado a plataforma, a autonomia de voo apresenta-se como a capacidade da aeronave em realizar a operação em determinado espaço de tempo. É um fator que depende da capacidade das baterias, peso do equipamento, capacidade do motor e aerodinâmica (Longhitano, 2010).

Segundo Longhitano (2010) a altura do voo está relacionada com as dimensões da área de estudo, com o tamanho físico do sensor (distância focal) e do pixel. E pode ser calculada conforme a equação 1 (Falkner, 1994):

$$\text{Área coberta} = \left(\frac{\text{Altura do voo}}{\text{Distância focal} \times \text{Largura do sensor}} \right) \times \left(\frac{\text{Altura do voo}}{\text{Distância focal} \times \text{Comprimento do sensor}} \right) \quad (1)$$

O tamanho do pixel do terreno (GSD), trata-se do tamanho mínimo dos objetos que serão identificados no produto gerado, e refere-se à resolução espacial de uma imagem e/ou fotografia, podendo ser calculado de acordo com a equação 2 (Jensen, 2009):

$$\text{Tamanho do pixel} = \frac{\text{Tamanho físico do Pixel} \times \text{Altura de voo}}{\text{Distância focal da lente}} \quad (2)$$

No entanto, atualmente já são disponibilizados no mercado de geotecnologias e softwares (Dronedeploy, Dji Ground Station Pro, Precision Flight, Pix4d Capture), capazes de realizar a análise dos fatores supracitados automaticamente na etapa de planejamento do voo. Dessa forma os softwares possibilitam a estimativa da autonomia, distância total a ser percorrida pelo VANT, GSD calculado, área a ser mapeada, altura do voo, número de fotografias que serão obtidas, simulando as incertezas de modo a minimizá-las e fornecendo a resolução espacial desejada.

2.4.7. Processos erosivos oriundos da erosão hídrica

Os processos erosivos decorrentes da erosão hídrica podem ocorrer de duas maneiras distintas, onde o escoamento se dá de forma difusa (erosão laminar) e concentrada (erosão linear) (Rubira et al., 2016). Eles ocorrem de forma lenta e gradual, com ação intensificadora da ação antrópica, sendo elas: práticas agrícolas, desmatamento, construções, manejo inadequado, entre outros (Nunes et al., 2011). Abaixo são apresentadas as diferentes formas de ocorrência, sendo que a erosão linear se subdivide em sulcos, ravinas e voçorocas.

Nesse tipo de erosão não ocorre à formação de canais, trata-se de um processo erosivo que em alguns casos não é perceptível visualmente, ou na maioria das vezes desprezado pelo pequeno volume de solo removido. Todavia, contribui no assoreamento de rios e empobrecimento do solo.

Na erosão em sulcos, os fluxos d'água de escoamento superficial difuso se concentram em pequenas depressões da superfície do solo, denominados de sulcos de erosão. Para Flauzino (2012) essa erosão consiste em um processo de transição (evolução) da erosão laminar. De acordo com Bezerra et al. (2010), no escoamento formado a lâmina d'água apresenta-se com maior tensão de cisalhamento, aumentando então a capacidade e o potencial de desagregação do solo.

As ravinas são o estágio avançado da erosão em sulcos (Salomão & Antunes, 1998). Para os autores Ellison (1947) e Conciani (2008) a formação da ravina inicia-se quando a velocidade do fluxo concentrado ultrapassa 30 m s^{-1} , o que promove a formação de regime de escoamento turbulento, resultando no surgimento de incisões em horizontes inferiores do solo, e em seguida a rocha.

Quanto às voçorocas, trata-se do estágio mais avançados dos processos erosivos supracitados. Para Guerra (1999) e Magalhães (2001) as voçorocas são evoluções das ravinas e podem ser definidas como erosão linear em fase avançada, proveniente da ação conjunta da dinâmica da água, do escoamento de sedimentos sobre a superfície do solo, subsuperficial, subterrâneo e da ação antrópica (Vieira & Verdum, 2015). As voçorocas possuem paredes laterais íngremes, fundo chato e na maioria das vezes atinge o lençol freático (Guerra, 2005).

2.4.8. Morfologia de voçorocas

As voçorocas possuem diferentes estágios evolutivos, estando eles divididos em: inicial, juvenil, madura e senil (Oka – Fiori & Soares, 1976; Dobek et al., 2011; Queiroz, 2011). No estágio inicial, ocorre o desenvolvimento dos sulcos devido à ação conjunta do escoamento superficial concentrado, declividade, precipitações pluviométricas, tipo de cobertura do solo e estrutura do solo. O leito de uma voçoroca no primeiro estágio evolutivo se desenvolver em perfil irregular, seção transversal em V (Figura 8), com paredes retilíneas, não apresentando ramificações (Queiroz, 2011). Para Oka-Fiori & Soarez (1976), no estágio juvenil o processo erosivo se intensifica, ocorrendo à evolução da feição erosiva e formação de dutos, provocando o alongamento, alargamento e aprofundamento do canal.

Os autores supracitados afirmam que a voçoroca em estágio de maturidade apresenta ramificações com linhas irregulares, podendo estas apresentar secção transversal em U (Figura 8) e fundo achatado. Ainda nesse estágio pode – se observar movimentação de massa nas paredes, com alargamento e erosão vertical nas ramificações, desenvolvimento de cobertura vegetal no fundo, e acomodamento dos processos erosivos de erosão do canal.

No estágio senil, a voçoroca apresenta leito com secção transversal e em U, linha de contorno pouco regular, paredes com inclinação suave, cobertura vegetal em toda a área e leito coberto com depósitos aluviais (Queiroz, 2011). Segundo Fendrich et al. (1991) nesse estágio inicia-se o processo de estabilização, com a colonização de espécies vegetais provenientes dos escorregamentos de massas de solo.

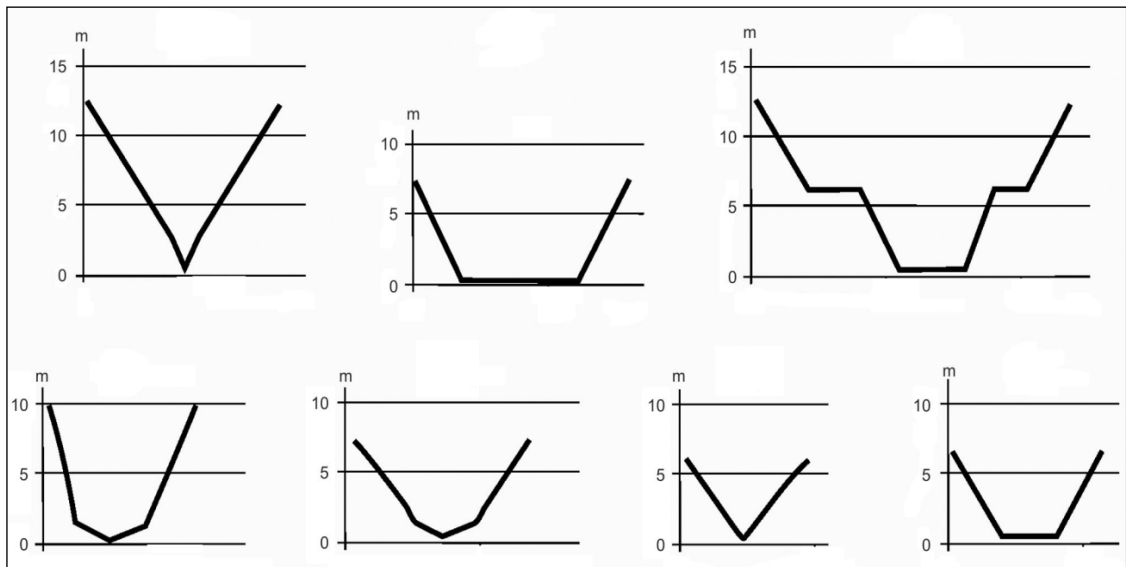


Figura 7. Formas da secção transversal das voçorocas em V e U. Fonte: Adaptado de Dobek et al. (2011).

2.5 MATERIAL E MÉTODOS

2.5.1. Localização da área de estudo

O estudo foi realizado na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Cachimbal, que compreende grande parte do território do município de Pinheiral-RJ. O município está inserido na região do Médio Paraíba Fluminense, e localiza-se entre as latitudes 22° 29' 03'' S e 22° 35' 27'' S e entre as longitudes 43°54'49'' W e 44°04'05'' W (Figura 9).

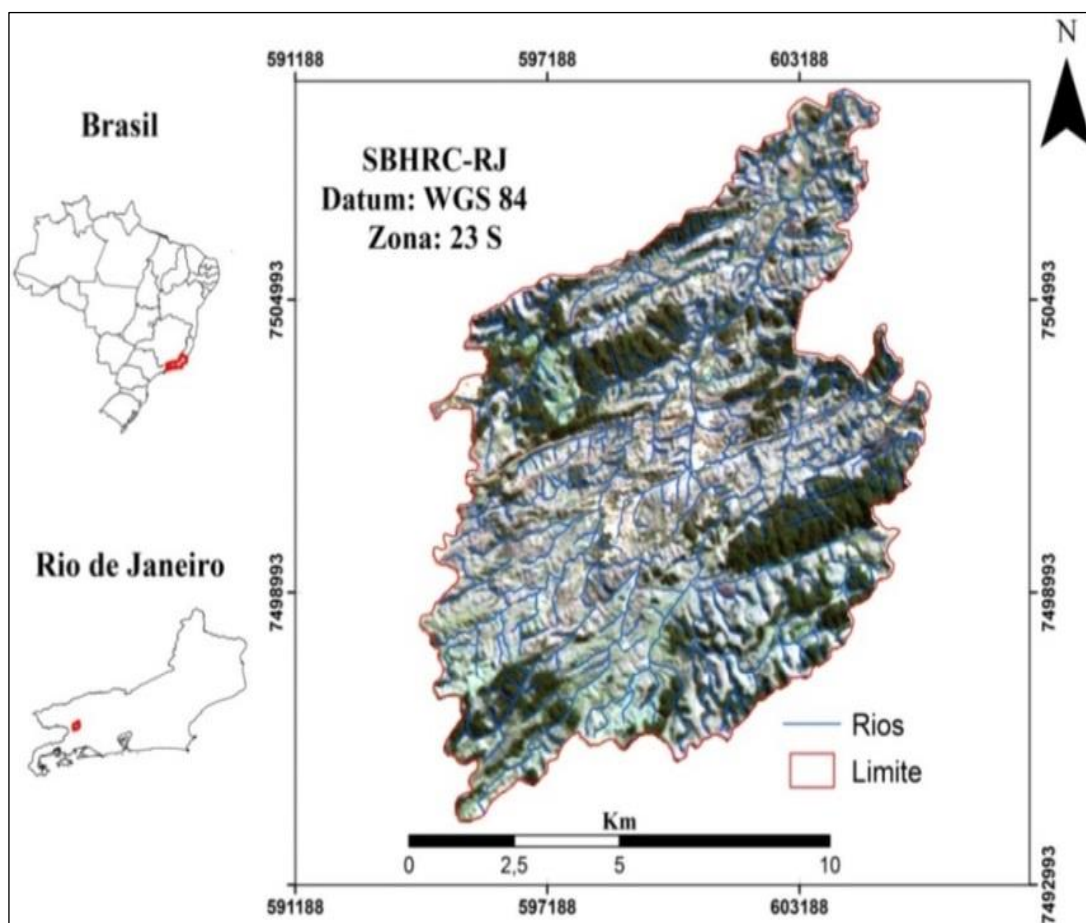


Figura 8. Sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Cachimbal, Pinheiral - RJ. Fonte: Adaptado de Gaia-Gomes et al. (2018).

2.5.2. Caracterização do meio físico

a) Clima

O clima da região é classificado como Cwa - clima temperado de inverno seco e verão chuvoso, e Am - clima tropical chuvoso com inverno seco segundo classificação climática de Köppen-Geiger (Alvares et al., 2014). A temperatura média de maior valor ocorre em janeiro (30,9 °C) e a de menor valor ocorre em julho (16,8 °C), ficando a média anual em torno de 22 °C (Toledo, 2002; Machado et al., 2010). A precipitação anual média varia entre 1300 a 1500 mm ano⁻¹ (Machado et al., 2010).

b) Relevo

De acordo com Machado (2007) o relevo regional possui uma sequência de morros com topo arredondado, em formato de meia laranja, definidos como “Mar de Morros”. A sub-bacia

possui altitude variando de 360 m na foz do Ribeirão Cachimbal, até 720 m na serra do Arrozal (Oliveira, 1998; Gaia-Gomes et al., 2018) (Figura 10), onde predominam encostas com declividades variadas (72,0 %), poucas áreas de topos de morros aplainados (5,7 %) e várzeas estreitas (22,3 %) nos vales estruturais da bacia e às margens de seu canal principal (Oliveira, 1998; Menezes, 2008; Santos 2009; Santos, 2014).

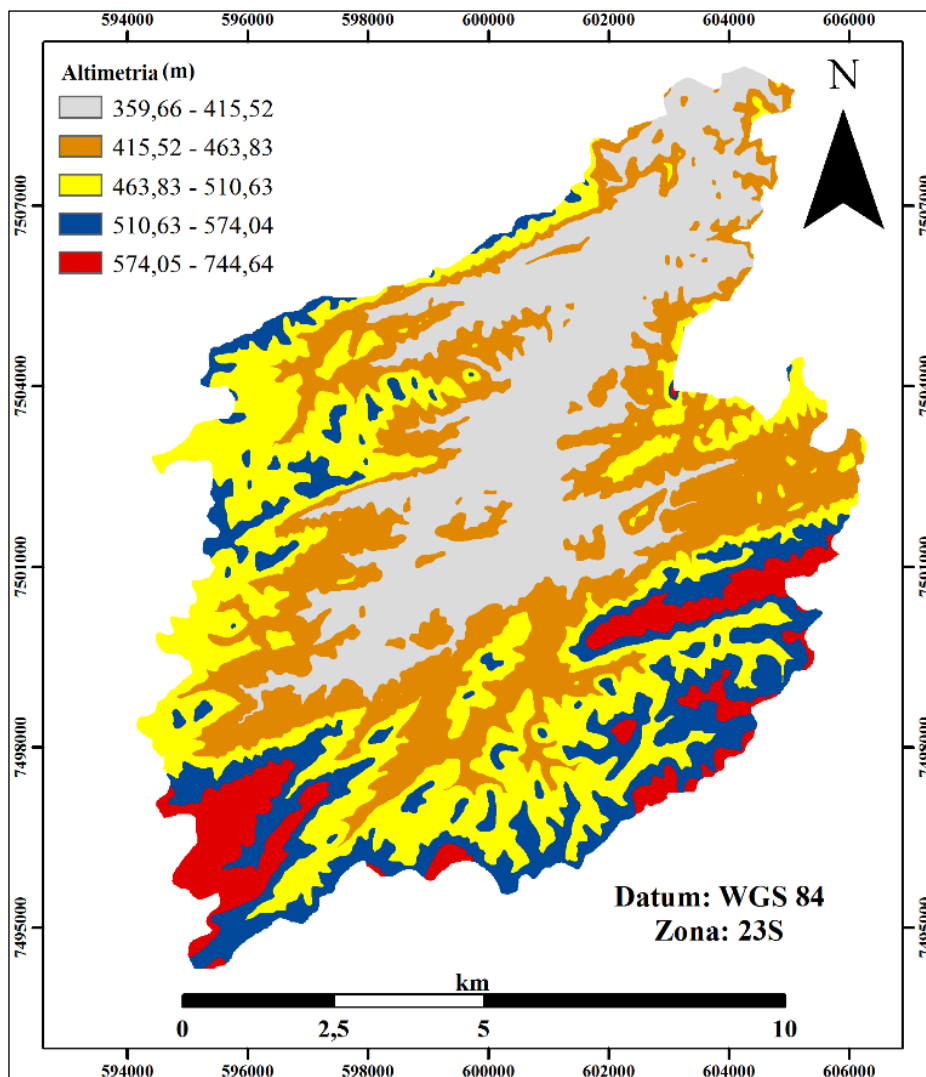


Figura 9. Mapa de altimetria da sub – bacia do ribeirão Cachimbal – RJ. Fonte: Adaptado de Gaia-Gomes (2017).

Na figura 11, é apresentada o mapa de declividade da sub-bacia estudada, onde é possível observar a distribuição das classes de declividade. Constata-se que 34,8% de área foi classificada com relevo forte ondulado (de 20 a 45% de declividade) e 28,5% de área foi classificada como relevo ondulado (de 8 a 20% de declividade), conforme também verificado por Gaia-Gomes et al., (2018).

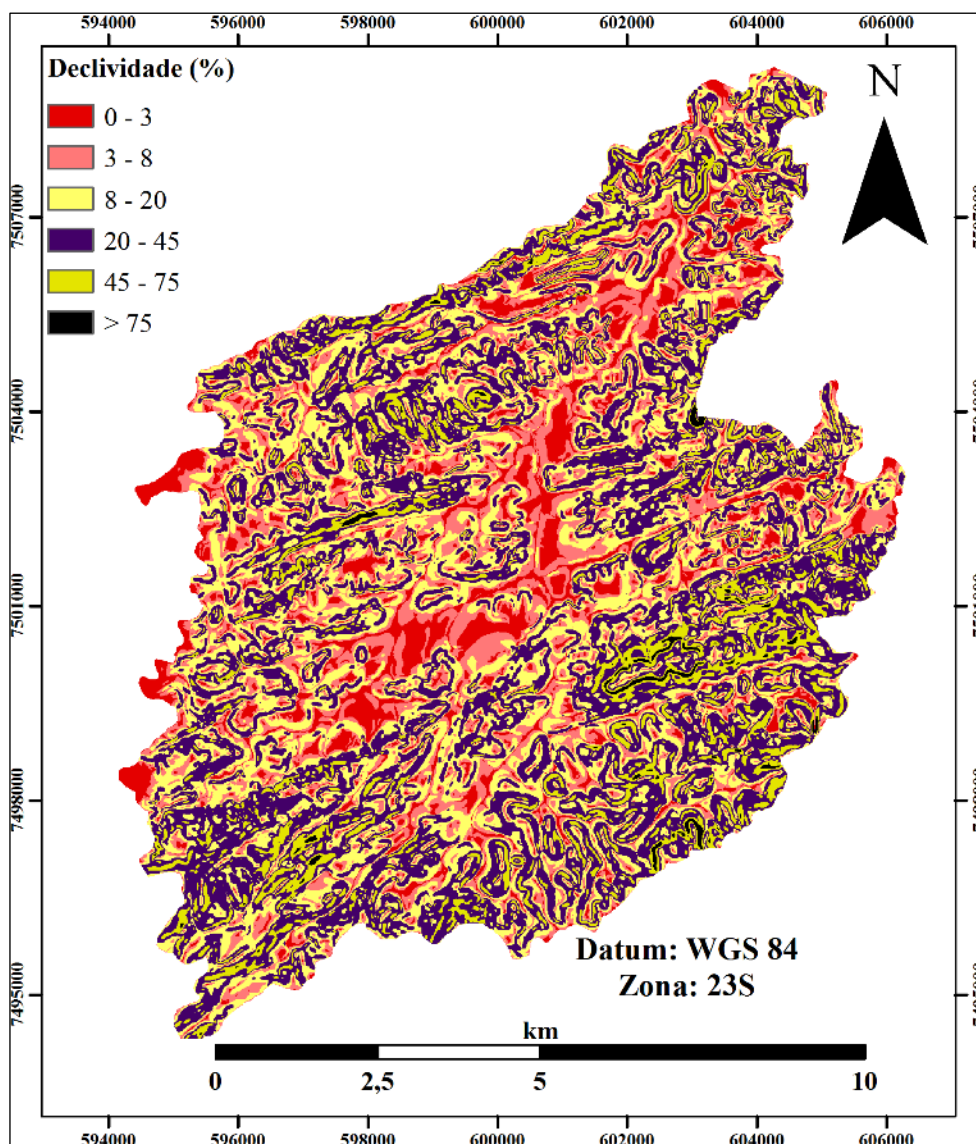


Figura 10. Mapa de declividade da sub – bacia do Ribeirão Cachimbal – RJ. Adaptado de Gaia-Gomes (2017).

c) Solos

Os solos predominantes na sub-bacia do Ribeirão Cachimbal são: no topo e terço superior da encosta os Latossolos Vermelho-Amarelos; na encosta os Argissolos Vermelho-Amarelo e Cambissolos Háplicos; e nas baixadas Neossolos Flúvicos, Gleissolos e Planossolos (Oliveira, 1998; Menezes, 2008; Santos, 2009; Machado et al., 2010). Dentre outras classes de solo não predominantes, porém, ocorrentes cita-se: Chernossolos, Gleissolos Húmico e pouco Húmido (Menezes, 1999; Santos et al., 2017).

d) Vegetação

A região está inserida no Bioma Mata Atlântica, que tem como vegetação original a Floresta Estacional Semidecidual Submontana (IBGE, 1992; CONAMA, 1996). Segundo Menezes (2008) e Santos et al. (2017), a cobertura vegetal predominante na região é constituída por pastagens, implantadas e espontâneas não manejadas, que se apresentam com diferentes estágios de degradação, nível de uso e ou abandono, dando origem às demais formas de vegetação da área, como os pastos sujos e as capoeiras com diferentes estágios sucessionais. Menezes et al. (2009) afirmam que no período colonial a vegetação nativa foi substituída pela

cultura do café, e com o passar dos anos as áreas tomadas pelo café foram sendo abandonadas ou substituídas por pastagens (Menezes, 1999; Machado 2007).

e) Geologia

As rochas da região de Pinheiral podem ser agrupadas nos seguintes litotipos: ortognaisses, biotita gnaiss, hornblenda-biotita gnaiss, granada moscovita-biotita gnaiss, milonitos e granodiorito-tonalito (Nummer, 2001). As principais rochas constituintes são os gnaisses porfiroclásticos, biotita gnaiss, muscovita biotita gnaiss e as intrusões diabásicas (Santos et al., 2010).

f) Geomorfologia

A sub-bacia possui formação morfo-estrutural delimitada pelo delineamento estrutural no sentido Sudoeste-Nordeste (Santos, 2014; Gaia-Gomes et al., 2018). Para Ab'Saber (1997) isso explica o relevo acidentado que caracteriza a feição geomorfologia da região, conhecida como “Mar de Morros” (Figura 12).



Figura 11. Paisagem de Mar de Morros. Fonte: João Henrique Gaia Gomes (2018).

2.5.3. Mapeamento e classificação qualitativa das voçorocas

O mapeamento das voçorocas foi realizado a partir da imagem do ano de 2016, disponível no Google Earth, com resolução espacial de 2,34 metros. Na imagem foram georreferenciadas quatro voçorocas ocorrentes em pedoforma convexa em diferentes estágios evolutivos, visto que na Sub-bacia do Ribeirão Cachimbal as voçorocas ocorrem majoritariamente nessa feição topográfica (pedoforma) (Gaia-Gomes, 2017).

A classificação qualitativa foi realizada por meio do modelo digital de elevação de superfície de curvatura (MDESC) (Figura 13), que foi gerado empregando cartas topográficas dos municípios de Volta Redonda (Folha SF-23-Z-A-V-2) e Pirai (Folha SF- 23-Z-VI-1), obtidas no *site* do IBGE, na escala de 1:50.000 com resolução espacial de 10 m na escala de 1:100.000, e utilizando o *software* ArcGIS versão 10.5. No MDESC foram plotadas as coordenadas das voçorocas identificadas. Posteriormente, validou-se a classificação qualitativa dos estágios das voçorocas mediante ida ao campo.

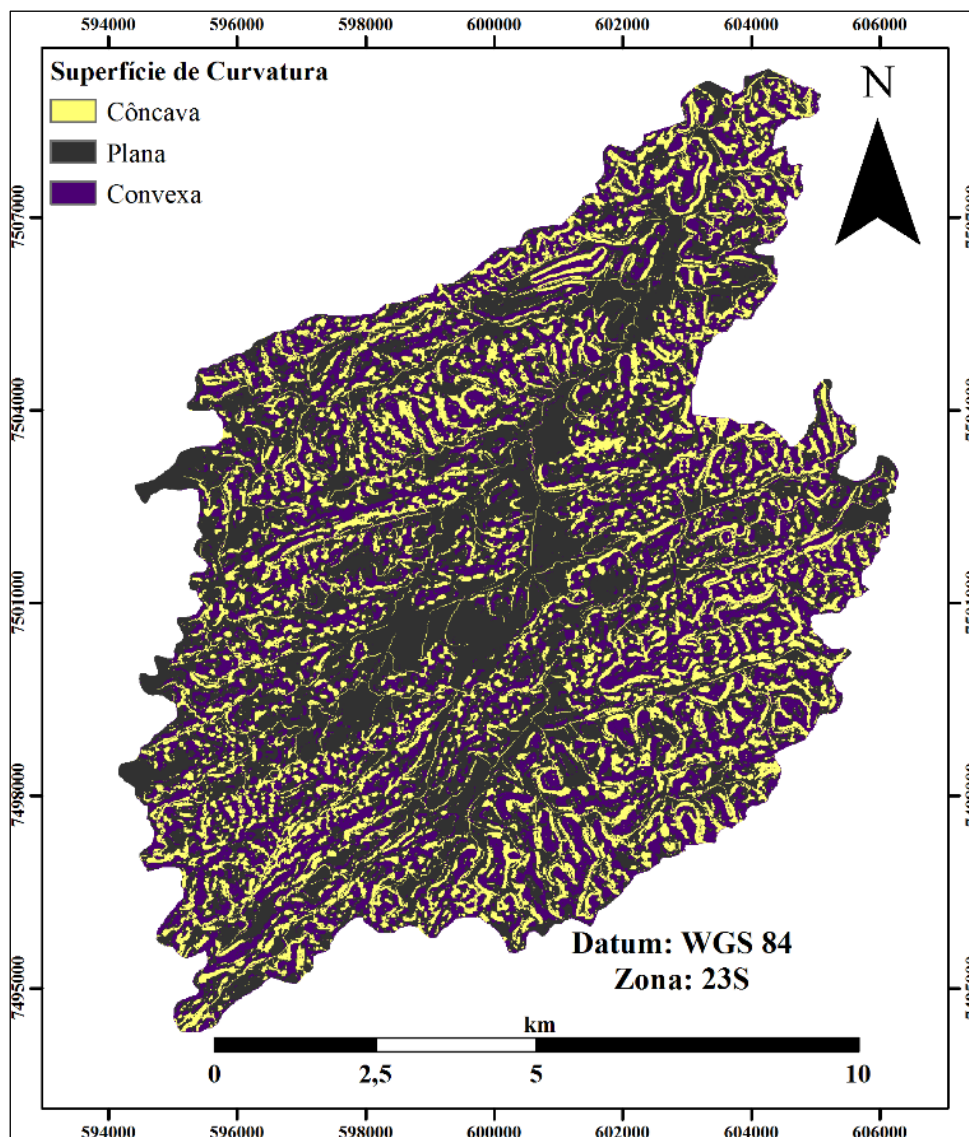


Figura 12. Modelo digital de elevação de superfície de curvatura (MDESC) da Sub-bacia do Ribeirão Cachimbal, Pinheiral - RJ. Fonte: Gaia-Gomes (2017).

2.5.4. Classificação morfológica das voçorocas

No interior da sub-bacia foi selecionada uma vertente de exposição (Figura 14) de acordo com os resultados apresentados no estudo de Gaia-Gomes (2017), com quatro voçorocas localizadas em feição de topografia (pedoforma) convexa. As voçorocas foram classificadas quanto a sua morfologia, em inicial, juvenil, madura e senil (Oka-Fiori; Soares, 1976; Dobek et al., 2011; Queiroz, 2011).



Figura 13. Vertente de exposição selecionada e a disposição das voçorocas (1-Madura, 2-Senil, 3-Juvenil, 4-Inicial) em 17 de Maio de 2017. Fonte: João Henrique Gaia Gomes (2017).

2.5.5. Coletas de amostras de solo

Para avaliar atributos químicos e físicos do solo nas voçorocas, foram coletadas amostras deformadas nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m e amostras indeformadas na camada de 0-0,10 m na face interna de cada voçoroca (Figura 15a, b e c). Na voçoroca classificada como inicial, foram coletadas 10 amostras deformadas e 10 indeformadas, na juvenil 12 amostras deformadas e 12 indeformadas, para a madura 16 amostras deformadas e 16 indeformadas e para a senil 18 amostras deformadas e 18 indeformadas para as profundidades analisadas. Para a coleta das amostras indeformadas foi utilizado o anel de Kopeck de volume conhecido (Figura 15a) e para as deformadas empregou-se enxadão (Figura 15b).

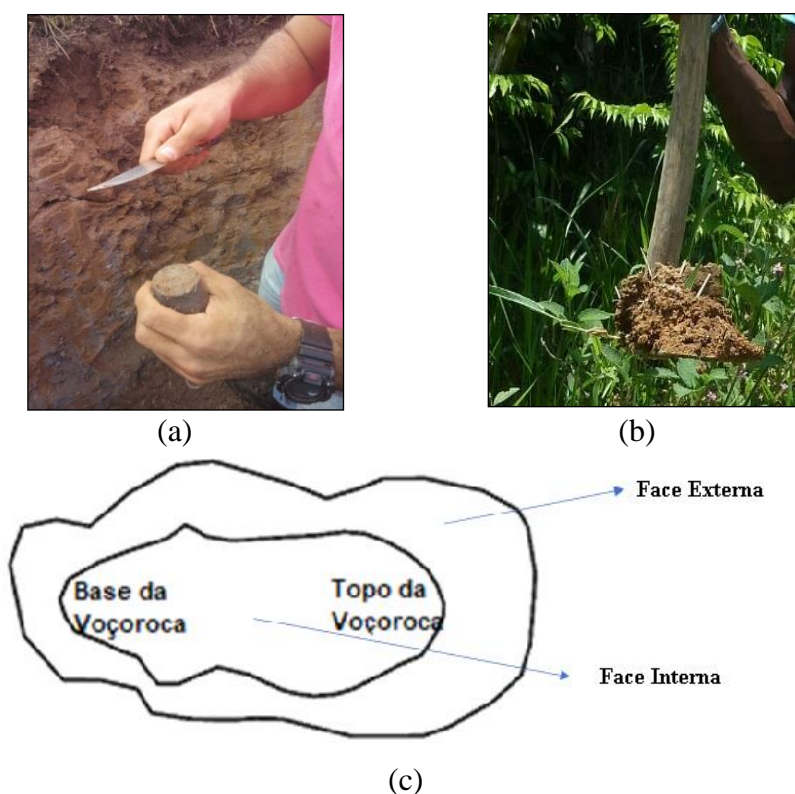


Figura 14. Coleta de amostras indeformadas (a), deformadas (b) e faces da voçoroca (c). Fonte: João Henrique Gaia Gomes (2018).

2.5.6. Análises de solo

Após a realização da coleta, as amostras de solo foram encaminhadas para o Laboratório de Gênese e Classificação de Solos (LGCS) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). No LGCS, as amostras deformadas foram secas, destorroadas e passadas por peneira de 2 mm, obtendo-se então a terra fina seca ao ar (TFSA). A partir de então as amostras foram submetidas às análises químicas e físicas.

As amostras indeformadas foram utilizadas para a quantificação dos atributos físicos de densidade do solo (D_s) (Teixeira et al., 2017).

2.5.7. Análises dos atributos químicos do solo

Foram realizadas as seguintes análises: a) cálcio (Ca^{+}) e magnésio (Mg^{2+}) ($cmol_c\ dm^{-3}$) trocáveis extraídos com solução de KCl na concentração de $1\ mol\ L^{-1}$, analisados por titulometria; b) potássio (K^{+}) e sódio (Na^{+}) trocáveis ($cmol_c\ dm^{-3}$) extraídos pelo método Mehlich-1 e analisados por fotometria de chama, respectivamente; c) Carbono orgânico total (COT) ($g\ kg^{-1}$) obtido pela oxidação via úmida, com dicromato de potássio. O método utilizado para a determinação do COT encontra-se descrito em Yeomans & Bremner (1988), e os demais em Teixeira et al. (2017).

2.5.8. Análises dos atributos físicos do solo

a) Análise granulométrica

A análise granulométrica (Figura 16) foi realizada para quantificar as seguintes frações do solo: areia total ($g\ kg^{-1}$), areia grossa ($g\ kg^{-1}$), areia fina ($g\ kg^{-1}$), argila total ($g\ kg^{-1}$), argila natural ($g\ kg^{-1}$) e silte ($g\ kg^{-1}$), de acordo Teixeira et al. (2017).



Figura 15. Análise granulométrica. Fonte: João Henrique Gaia Gomes (2018).

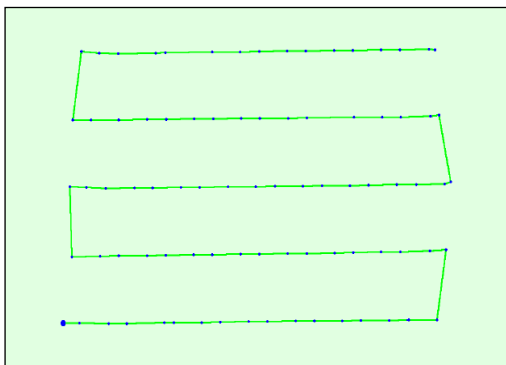
b) Densidade do solo

A D_s foi determinada com a pesagem e secagem em estufa a 105°C , sendo retirada após 24 horas (Teixeira et al., 2017). A D_s (Mg m^{-3}) foi calculada conforme a equação (3).

$$D_s = \frac{\text{massa da amostra seca a } 105^\circ\text{C (Mg)}}{\text{volume do cilindro}(\text{m}^3)} \quad (3)$$

2.5.9. Voo sistematizado e quantificação de massa de solo e de atributos edáficos removidos utilizando drone

Foi realizado voo sistematizado com posicionamento previamente definido (Figura 17a) utilizando o drone modelo Phantom 4 PRO (SZ DJI Technology Co, Ltd) (Figura 17b) sobre a vertente de exposição na qual se encontram as voçorocas. Antes do voo, foram instalados 04 (quatro) marcos no campo para servirem de pontos de controles, sendo determinadas coordenadas destes pontos com auxílio do receptor GNSS modelo GS 8 Plus, da Leica.



(a)



(b)

Figura 16. Plano de voo sistematizado com posicionamento previamente definido (a) e Drone Modelo Phantom 4 (b). Fonte: João Henrique Gaia Gomes (2017).

No voo foram capturadas 84 imagens, que posteriormente foram utilizadas na aerotriangulação de pontos chaves (Figura 18) para montagem da cena da área, com 4 cm de resolução espacial, e assim obtendo uma ortofoto da área. A partir da aerotriangulação foi gerada nuvem de pontos para preencher o volume, corte e aterro, em toda a superfície das voçorocas (Figura 19). Através do software Pix4Dmapper Pro versão 4.1.10 (Pix4D SA, Switzerland) foram calculados os volumes das voçorocas (m^3) e a área interna ao limite topográfico superior das voçorocas (m^2).

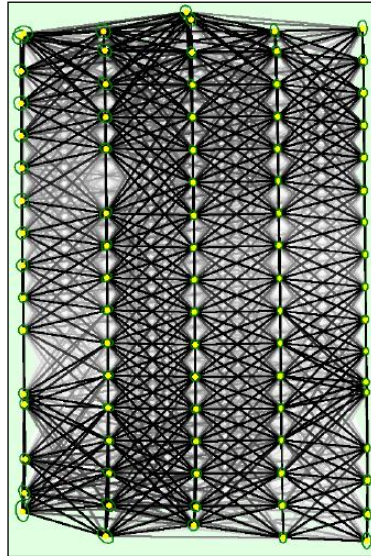


Figura 17. Triangulação de pontos chave para confecção da ortofoto. Fonte: Pix4Dmapper Pro versão 4.1.10 (2018).

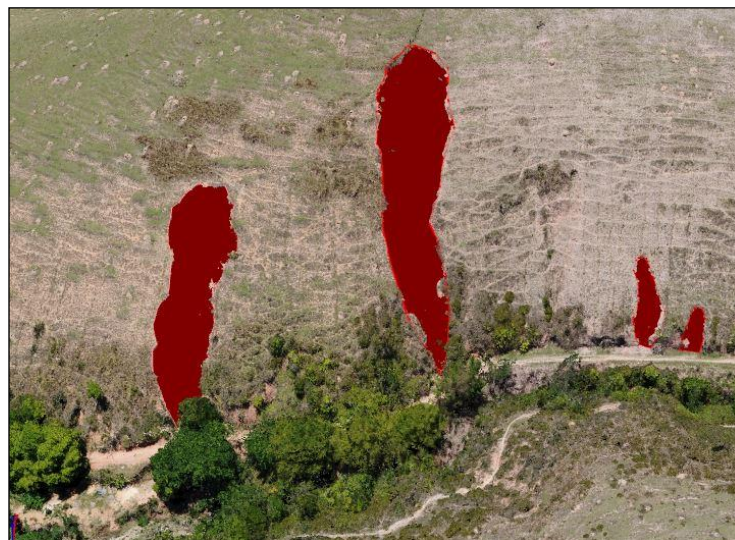


Figura 18. Polígonos preenchendo as dimensões das voçorocas. Fonte: Pix4Dmapper Pro versão 4.1.10 (2018).

Com o volume (m³) de cada voçoroca e dados das análises químicas e físicas, calculou-se a quantidade de massa de solo removida e a quantidade de massa dos nutrientes /atributos edáficos: Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, COT; teores areia total, fina e grossa, argila total e fina, e silte.

A quantificação foi realizada utilizando a equação 3, apresentada acima. De modo que com os dados de Ds e do volume através do software Pix4Dmapper Pro version 4.1.10, pode-se calcular a massa removida de solo. De posse da massa removida total (ton) removida em cada voçoroca foi realizada a quantificação de massa de nutrientes e dos atributos físicos removidos, conforme a equação 4:

$$MAER(kg) = \frac{MSTR (ton) * \text{Atributo edáfico}}{1000} * 100 \% \quad (4)$$

em que, MAER: Massa do atributo edáfico removida em quilograma (kg) e MSTR: Massa de solo total removida em quilograma (Mg)

2.6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos para os atributos: área interna ao limite topográfico, volume removido, Ds e massa de solo removida, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos edáficos quantificados nas diferentes voçorocas.

Estágio	Área (m ²)	Volume (m ³)	Ds ¹ (Mg m ⁻³)	Massa de Solo Removida (Mg)
Inicial	54,83	32,44	1,12	36,33
Juvenil	117,97	79,41	1,05	83,38
Madura	934,28	1637,93	1,14	1867,24
Senil	1069,23	1709,35	1,28	2187,97

¹Densidade do solo

Foi verificado o aumento da área entre os estágios evolutivos das voçorocas, sendo o menor valor, de 54,83 m² observado para a voçoroca em estágio inicial e o maior valor, de 1069,23 m² para a voçoroca em estágio senil. Padrão similar foi observado para o volume sendo o menor, 32,44 m³, na inicial e o maior de 1709,35 m³ na senil. Quanto a quantidade de massa removida, o menor valor de 36,33 Mg foi quantificado na voçoroca inicial e o maior de 2187,97 Mg na senil (Tabela 1). Esse padrão pode estar associado à erosão hídrica do solo, através da qual ocorre o carreamento intenso de partículas, processo proveniente da ação do vento e da chuva, onde o solo é depositado em diferentes locais na paisagem. Ao analisarem a perda de solo e nutrientes em voçorocas sob intervenção e sem intervenção na mesma região do presente estudo, Machado et al. (2010) verificaram a remoção de um volume de massa de solo de respectivamente 6,50 m³ e 10,71 m³, para os graus de restauração supracitados.

Ao se analisar o percentual de incremento do volume de solo removido pela erosão, verificou-se que, no momento de realização desse estudo, no estágio juvenil houve um aumento de 144,79% de volume com relação ao estágio anterior; no estágio maduro houve um aumento de 1962,62% do volume relacionado ao estágio juvenil; e, por sua vez, no estágio senil ocorreu um aumento de 4,36% do volume quando comparado ao estágio maduro. Percebe-se uma perda acentuada de solo entre a passagem de estágio juvenil para maduro, e além disso, o pequeno incremento do volume entre as fases madura e senil, evidenciam a estabilização do processo erosivo.

Em tempos pretéritos, principalmente nas vertentes de exposição sob pedoformas convexas, era realizado o plantio de café, em função das condições microclimáticas favoráveis para o desenvolvimento da cultura, o que contribuiu para a instalação do processo erosivo. Adicionalmente, as pedoformas convexas da região, nas quais se encontram as voçorocas estudadas apresentam-se sob ação constante de processos erosivos, que atuam diretamente na degradação do solo, levando a ao aumento da perda de solo, água e nutrientes essenciais para o equilíbrio sustentável da agropecuária (Tavares et al., 2017; Bogunovis et al., 2018).

O padrão erosivo observado pode estar também relacionado à intensidade de ocorrência do processo erosivo ao qual a vertente de exposição foi submetida, e também a escala temporal de ocorrência dos estágios, no qual de acordo com as considerações de Vieira (2008), nos estágios iniciais ocorrem menores perdas de solo, e com o decorrer do processo, desde que medidas preventivas não sejam tomadas, gradativamente ocorre o aumento da perda de solo. O transporte de sedimentos provenientes dos processos erosivos é fortemente dependente da escala espacial e uso do solo, afirmam Golosov et al. (2018).

Ao analisar os valores de Ds, foi possível constatar que para esse parâmetro o padrão é diferente entre as voçorocas. Com menor valor de Ds correspondendo a voçoroca em estágio juvenil, cerca de 1,05 Mg m⁻³ e o maior para o estágio senil, com 1,28 Mg m⁻³.

A Ds é um reflexo das características estruturais dos solos, o que possibilita prever a consequência de processos erosivos (Correa et al., 2014). A voçoroca em estágio senil possui maiores dimensões, sendo a mais profunda em comparação a juvenil, que se encontra com leito mais raso e com leve inclinação, esse fato pode estar influenciando em valores mais baixos de Ds, visto que, estes tendem a aumentar em profundidade, em função do adensamento ocorrido pela pressão exercida pelas camadas superiores sobre as subjacentes reduzindo a porosidade e provocando a compactação. Avaliando a qualidade física do solo sob manejo silvipastoril Martinkosk et al. (2017) verificaram maiores valores de Ds em profundidade. Já Castro et al. (2012) observaram o mesmo padrão estudando a distribuição da Ds em áreas de floresta nativa.

Os valores quantificados de massa e dos atributos químicos e físicos do solo que foram removidos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Massa dos atributos químicos e físicos do solo removidos.

Estágio	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	COT
			(kg)		
Inicial	7,45	4,60	3,96	3,77	227,02
Juvenil	43,62	15,09	1,32	0,81	463,35
Madura	44,43	13,34	1,29	0,82	400,14
Senil	46,22	13,27	1,37	0,82	482,18
	Areia Total	Areia Fina	Areia Grossa	Argila Total	Argila Natural
			(Mg)		
Inicial	18,60	4,13	14,47	10,59	3,77
Juvenil	18,43	4,34	13,89	12,57	4,60
Madura	16,91	3,57	13,28	11,09	4,16
Senil	15,58	3,51	12,06	9,02	3,66

Quanto aos atributos físicos do solo, os menores valores de massa removidos devido ao processo erosivo, foram verificados na voçoroca em estágio classificado como senil, já os maiores valores no tocante a areia total e areia grossa foram observados no estágio inicial. Quanto aos atributos areia fina e argila natural os maiores valores foram quantificados na voçoroca classificada como juvenil. Esse padrão pode ser decorrente do processo estar em um estágio inicial ocorrendo em maior intensidade, favorecendo a remoção dessas frações de menor granulometria de areia e a argila que se encontra naturalmente dispersa. Os maiores valores para a argila total foram encontrados na voçoroca classificada como madura, o que pode estar relacionado ao estágio em que se encontra a voçoroca. Salienta-se que os maiores valores de argila total foram quantificados a jusante da voçoroca.

Os menores valores de massa de solo removidos verificados na voçoroca em estágio senil podem estar associados, ao seu padrão morfológico, o qual apresenta paredes com inclinação suave, favorecendo ao escoamento superficial mais lento, e cobertura vegetal em toda a área e leito coberto com depósitos aluviais (Queiroz, 2011), tais características contribuem para a estabilização dos processos erosivos com a colonização de espécies vegetais oriundas do deslizamento de massa.

O maior teor de areia total removida foi de 18,60 Mg, sendo que dessa massa 14,47 Mg correspondem a areia grossa, sendo ambos verificados na voçoroca em estágio inicial. Esse padrão pode estar relacionado ao efeito do escoamento superficial e subsuperficial da água que tem consequência notória para essa fase do processo erosivo. A fração areia apresenta baixa

coesão, ausência de pegajosidade, podendo ser facilmente transportada. Solos com teores mais elevados de areia grossa apresentam menor agregação, e quando os agregados estão presentes possuem pequena resistência ao impacto das gotas de chuva, sendo mais suscetíveis à desagregação, o que pode estar relacionado a baixos teores de MOS, visto que estes conduzem a baixa agregação das partículas minerais do solo. Tais características e o histórico de uso da terra e a declividade do solo favorecem ao início do processo erosivo (Zhang et al., 2018).

A presença de cobertura vegetal atua como barreira física no escoamento de partículas físicas do solo, o que pode ser observado na voçoroca em estágio senil, que se encontra em regeneração espontânea, apresentando a ocorrência de gramíneas. Autores como Peñuela et al. (2015) que estudaram como a inclinação e a rugosidade da superfície afetam conectividade de fluxo terrestre em escala de parcela e Zang et al. (2018), que avaliaram os efeitos dos fatores topográficos no escoamento e perda de solo no sudoeste da China, consideram que a cobertura vegetal influencia diretamente na intensidade de erosão hídrica.

Avaliando a mudança do uso da terra em estratificação e armazenamento de carbono e nitrogênio do solo Parras-Alcántara et al. (2016) constataram que esta influenciou nos atributos e qualidade do solo, dificultando assim a recuperação das áreas e, conseqüentemente, minimizando a conservação do solo. A cobertura vegetal reduz a intensidade da erosão do solo, melhorando a capacidade de infiltração (Ouyang et al., 2018).

Para os atributos areia fina, argila natural e argila total os maiores valores foram respectivamente, 4,34 Mg, 4,60 Mg e 12,57 Mg, verificados na voçoroca classificada como juvenil. Esse padrão também pode ser explicado pelo processo ativo de alteração estrutural que ocorre nessa classe de voçoroca, na qual o processo erosivo se intensifica, ocorrendo à evolução da feição erosiva e formação de dutos, alongamento, alargamento, aprofundamento do canal e grande carga de energia cinética, o que promove conseqüentemente a desagregação do solo e o carreamento de partículas de menor diâmetro e de baixa densidade, já que devido ao seu tamanho necessitam de menos energia cinética para o seu transporte. Mhazo et al. (2016) afirmam que as alterações nas características do solo estão associadas ao seu uso, ao efeito de processos erosivos, a estrutura e influenciadas pela textura do solo.

A quantidade carregada de Ca^{2+} e COT variam de 7,45 kg a 46,22 kg e 227,02 kg a 482,18 kg, respectivamente, estando os menores valores associados à voçoroca em estágio inicial e os maiores a senil. Os menores valores observados na voçoroca em estágio inicial podem estar relacionados às condições da área, a qual encontra-se sob vegetação de pastagem, ausência de regeneração ou cobertura vegetal que contribua para incremento nos teores dos atributos supracitados, e também ao processo erosivo, que se encontra no início, sob ação incisiva e conjunta da declividade e precipitação pluvial.

A voçoroca em estágio senil encontra-se em processo de regeneração. Estudando o aporte e decomposição da serapilheira e produção de biomassa radicular em florestas com diferentes estágios sucessionais em Pinheiral, Menezes et al. (2010), verificaram que a presença de vegetação proporciona o acúmulo de serapilheira, o que viabiliza a deposição desse material orgânico ao solo, possibilitando junto com o microclima local a sua decomposição. O fato da maior quantidade de Ca^{2+} e COT removida ter sido verificada na voçoroca senil pode estar relacionado a presença de vegetação nessa voçoroca contribui com a adição desses elementos, devido ao aporte de serapilheira e ciclagem de nutrientes. Segundo Coutinho et al. (2017), também no município de Pinheiral verifica-se que nas áreas abandonadas inicia-se o processo de sucessão, sendo esse também observado nas voçorocas.

O maior valor de Mg^{2+} removido foi verificado na voçoroca classificada como juvenil, 15,09 kg e o menor, 4,60 kg na inicial. Esse padrão pode estar relacionado ao fato desse elemento ser facilmente perdido principalmente adsorvido junto com sedimentos, via escoamento superficial (Pinheiro et al. 2010). No estágio juvenil, o processo de remoção de

sedimentos ocorre intensamente segundo Vieira (2008) e Queiroz (2011), havendo elevado carreamento de partículas.

Com relação ao K^+ e ao Na^+ os maiores valores foram verificados na voçoroca classificada como inicial, sendo eles respectivamente, 3,96 kg e 3,77 kg. Os menores valores foram 1,29 kg de K^+ para a voçoroca madura e 0,81 kg de Na^+ para a juvenil. Os maiores valores quantificados para esses macronutrientes podem ser atribuídos a sua grande mobilidade no solo, associados a voçorocas em menor grau de degradação, em estágio inicial, que possuem maiores quantidades desses elementos. À medida que vai havendo a remoção de massa, a quantidade de minerais primários que apresentem esses íons em sua composição vai diminuindo, como pode ser observado nas demais classes evolutivas, redução nos valores removidos. Segundo Dechen et al. (2015) a redução da fertilidade culmina na redução da capacidade produtiva do solo e atua como agente atenuador na aceleração dos processos erosivos e de degradação.

2.7. CONCLUSÕES

Os maiores valores para área, volume, densidade e massa de solo removido são quantificados na voçoroca em estágio senil.

Os maiores valores removidos de potássio e sódio são verificados na voçoroca em estágio inicial, já os de magnésio na juvenil e cálcio e carbono orgânico total na voçoroca em estágio senil.

Os menores valores para os atributos: areia total, areia fina, areia grossa, argila total e argila natural, são verificados na voçoroca em estágio senil.

A voçoroca classificada como senil apresenta os menores valores de massa removida para os atributos físicos, padrão associado à presença de cobertura vegetal e regeneração espontânea.

2.8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.711–728, 2014.
- BARRETO, L. B. Veículos aéreos não tripulados (VANTS) como uma ferramenta para gestão ambiental. Cuiabá: Mato Grosso, 2016. 40p. Monografia.
- BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 596 p.
- BOGUNOVIC, I.; PEREIRA, P.; KISIC, I.; SAJKO, K.; SRAKA, M. Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia). *Catena*, v.160, p.376–384, 2018.
- BORGES, L. F. M. B.; ZALOTI, F. A.; NASCIMENTO, D. M. C. Aplicação de sensoriamento remoto na identificação de impactos ambientais no distrito de Abrantes, Camaçari–Bahia. *Simpósio de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto*, 2017.
- CAMARGO, D. C. S. de. Aplicabilidade do uso de veículos aéreos não tripulados no monitoramento e gestão de unidades de conservação: estudo de caso da estação ecológica do Taim-RS. Porto Alegre: UFRGS, 2018. 132p. Dissertação de Mestrado.
- CASTRO, M. A.; CUNHA, F. F.; LIMA, S. F.; PAIVA, V. B.; LEITE, D. A. P.; MAGALHÃES, F. F. Atributos físico-hídricos do solo ocupado com pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul-Mato Grossense. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium*, v.3, p.498-512, 2012.
- CORREA, E. A.; MORAES, I. C.; GUEDES JUNIOR, E.; COUTO JUNIOR, A.; PINTO, S. A. F. P. Resistência à penetração e densidade do solo como indicadores na análise da susceptibilidade a erosão hídrica dos solos. *Revista Geonorte*, v.10, p.141-146, 2014.
- COUTINHO, F. S.; PEREIRA, M. G.; TOSTES, J. DE O.; FRANCELINO, M. R.; GAIA-GOMES, J. H. Application of Georadar in Areas with Different Vegetation Cover. *Floresta e Ambiente*, v.24: p.1-8, 2017.
- CRUZ, C. B. M.; BARROS, R. S.; CARDOSO, F. V.; REIS, F. B.; ROSÁRIO, L. S.; BARBOSA, S. S; RABACO, L. M. L.; LOURENÇO, J. S. Q. Avaliação da exatidão planialtimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do LIDAR. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR*, Curitiba: INPE. p. 5463, 2011.
- DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. de F.; MARIA, I. C. de. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. *Bragantia*, v.74: 224-233, 2015.

DOBEK, K.; DEMCZUK, P.; RODZIK, J.; HOLUB, B. Types of gullies and conditions of their development in silvicultural loess catchment (Szczepieszyn Roztocze region, SE Poland). *Landform Analysis* v.17, p.39–42, 2011.

FARIA, K. M. S. de; NETO, G. B. S.; COSTA, J. V. S.; FERREIRA, M. E. Dinâmica erosiva de processos tropicais: três décadas da erosão chitolina. I Congresso de Geografia Física: Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento.p.6997-7006, 2017.

FENDRICH, R.; OBLANDEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCIAS, C. M. Drenagem e controle da erosão urbana. 3 ed., 442 p., 1991.

FERNANDEZ, P.; DELGADO, E.; LOPEZ-ALONSO, M.; POYATOS, J. M. GIS environmental information analysis of the Darro River basin as the key for the management and hydrological forest restoration. *Science of the Total Environment*, v.613, p.1154–1164, 2018.

GAIA-GOMES, J. H. Caracterização Morfométrica da Sub-Bacia do Ribeirão Cachimbal, RJ e Atributos Edáficos Condicionantes no Processo Erosivo em Pedoformas Côncava e Convexa. Seropédica: UFRRJ, 2017. 109p. Dissertação de Mestrado.

GAIA-GOMES, J. H.; PEREIRA, M. G.; SANTOS, G. L.; DELGADO R. C. Physical Parameters of the Cachimbal River Sub-basin Associated to Landscape Change in Pinheiral-RJ, Brazil. *Bioscience Journal*. v. 34, n. 2, p. 268-278, 2018.

GETZIN, S. Worbes, M. Wiegand, T. Wiegand, K. Size dominance regulates tree spacing more than competition within height classes in tropical Cameroon. *Journal of Tropical Ecology*, v. 27, n. 01, p. 93-102, 2011.

GOLOSOV, V.; COLLINS, A. L.; TANG, O.; ZHANG, X.; ZHOU, P.; HE, X.; WEN, A. Sediment transfer at different spatial and temporal scales in the Sichuan Hilly Basin, China: Synthesizing data from multiple approaches and preliminary interpretation in the context of climatic and anthropogenic drivers. *Science of the Total Environment*, v.598, p.319–329, 2018.

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009. p. 129-150.

LONGHITANO, A. G. VANT para sensoriamento remoto: Aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causadas por acidentes com cargas perigosas. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2010. 163p. Dissertação de Mestrado.

MACHADO, R. L.; RESENDE, A. S. de; CAMPELLO, E. F. C.; OLIVEIRA, J. Á.; FRANCO, A. A. Soil and nutrient losses in erosion gullies at different degrees of restoration. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p. 945-954, 2010.
MARTINKOSKI, L.; VOGEL, G. F.; JADOSKI, S. O.; WATZLAWICK, L. F. Qualidade física do solo sob manejo silvipastoril e Floresta Secundária. *Revista Floresta e Ambiente* v.24, p.1-9, 2017.

MEDEIROS, F. A. Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão. Santa Maria: UFSM, 2007. 102p. Dissertação de Mestrado.

MENEZES, C. E. G.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; BATISTA, I.; RODRIGUES, K. de M.; COUTO, W. H.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, I. P. de. Macrofauna edáfica em estádios sucessionais de Floresta Estacional Semidecidual e pastagem mista em Pinheiral (RJ). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.1647-1656, 2009.

MENEZES, C. E. G.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; ANJOS, L. H. C. dos; PAULA, R. R.; SOUZA, M. E. de. Litter contribution and decomposition and root biomass production in forests at different sucessional stages in Pinheiral, RJ. *Revista Ciência Florestal*, v20, p.439-452, 2010.

MENEZES, P.R., ALMEIDA, T. Referência de sensoriamento remoto: Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto; Brasília: UnB, 2012, 276p.

MENEZES, S. J. M. da C. de; RIBEIRO, C. A. A. S.; LIMA, C. A. de; SOUZA, M. O. A. de. Geotecnologias aplicadas à gestão ambiental. *Diversidade e Gestão*, vol. especial 1, p. 57-69. 2017.

MHAZO, N.; CHIVENGE, P.; CHAPLOT, V. Tillage impact on soil by water: discrepancies due to climate and soil characteristics. *Agri. Ecosyst. Environ*, v.230, p.231-241, 2016.

OKA-FIORI, C.; SOARES, P. C. Aspectos evolutivos das voçorocas. *Notícia Geomorfológica. Campinas/SP*, 1976, 32p.

OUYANG, W.; WU, Y.; HAO, Z.; ZHANG, Q.; BU, Q.; GAO, Y. Combined impacts of land use and soil property changes on soil erosion in a mollisol area under long-term agricultural development. *Science of the Total Environment*, p.798–809, 2018.

PARRAS-ALCANTARA, L.; LOZANO-GARCÍA, B.; BREVIK, E. C.; CERDA, A. Soil organic carbon stocks assessment in Mediterranean natural areas: A comparison of entire soil profiles and soil control sections. *Journal of Environmental Management*, v.155, p.219-228, 2015.

PEÑUELA, A.; JAVAUX, M.; BIELDERS, C. L. How do slope and surface roughness affect plot-scale overland flow connectivity? *Journal Hydrology*, v.528, p.192–205, 2015.

PINHEIRO, D. T. C.; COSTA, C. C. da; MOTTA, L. L.; GODINHO, F. C.; SILVA, J. V. da. Monitoramento da fertilidade do solo submetido à erosão hídrica em área cultivada com *Eucalyptus* sp. *Revista Agrogeoambiental*, v.2, p.57-65, 2010.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO Y. E.; KUPLICH T. M. Sensoriamento remoto da vegetação. 2ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 160p.

QUEIROZ, F. L. L. Aspectos da Dinâmica hidrossedimentológica e do uso e ocupação do solo na bacia do córrego Arapu. Mato Grosso do Sul: UFMS, 2011. 125p. Dissertação de Mestrado.

- RODRIGUES, E. S. Aspectos Regulatórios da Operação de Veículo Aéreo Não Tripulado. Rio de Janeiro. In: XIII Rio de Transportes. 2015.
- SALGADO, J. G. Mapeamento de voçoroca utilizando geotecnologia de levantamento por drone. II Simpósio de Geografia e Contemporaneidades, Juiz de Fora-MG, p. 82-91, 2016.
- SANTOS, G. L. Efeito da Pedofoma no Processo de Sucessão Secundária em Fragmentos Florestais na Região do Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral, RJ. Seropédica: UFRRJ, 2014. 130p. Dissertação de Mestrado.
- SANTOS, J. C. N. dos; ANDRADE, E. M. de; MEDEIROS, P. H. A.; GUERREIRO, M. J. S.; PALÁCIO, H. Á. de Q. Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. *Revista ciência agronômica*, v.48, p. 251-260, 2017.
- SANTOS, G. L. dos; PEREIRA, M. G.; DELGADO, R. C.; MORAES, L. F. D. de. Padrões da regeneração natural na região de Mar de Morros, Pinheiral-RJ. *Revista Floresta e Ambiente*, v.24, p.1-11, 2017.
- SCHOWENGERDT, R. A. Techniques for image processing and classification in remote sensing. University of Arizona. 1983. 249p.
- TAVARES, A. S.; JÚNIOR, H. M.; SPALEVIC, V.; MINCATO, R. L. Models of water erosion and soil loss tolerance in dystrophic oxisols in southern Minas Gerais. *Revista do Departamento de Geografia*, v.12, p.268-277, 2017.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de Métodos de Análise de Solo. 3. ed. rev. e ampl. Embrapa, 2017. 573 p.
- VIEIRA, A. F. G. Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais. Santa Catarina: UFSC, 2008. 310p. Tese de Doutorado.
- YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.19, p.1467-1476, 1988.
- ZHANG, X.; HU, M.; GUO, X.; YANG, H.; ZHANG Z.; ZHANG, K. Effects of topographic factors on runoff and soil loss in Southwest China. *Catena*, v.160, p.394-402, 2018.

3. CAPÍTULO II

ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM DIFERENTES AMBIENTES E ESTÁGIOS EVOLUTIVOS DE VOÇOROCAS EM PEDOFORMA CONVEXA, NA SUB - BACIA DO RIBEIRÃO CACHIMBAL, PINHEIRAL – RJ

3.1. RESUMO

Na sub-bacia do Ribeirão Cachimbal, Pinheiral-RJ são observados processos erosivos na forma de voçorocas, que é o estágio mais avançado dos processos de erosão. Este processo possui como principais consequências à remoção de massa de solo, diminuição da fertilidade do solo, redução da capacidade de armazenamento de água e assoreamento de rios e lagos. As voçorocas podem ser classificadas quanto ao estágio evolutivo em: inicial, juvenil, madura e senil, de acordo com suas diferentes proporções, dimensões, coberturas vegetais e a dinâmica da água. Alguns estudos foram conduzidos no município a fim de elucidar a dinâmica do processo erosivo, no entanto são incipientes aqueles que avaliam se os atributos físicos e químicos apresentam padrões diferenciados em função dos estágios evolutivos e da superfície (face interna e externa) das voçorocas. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo quantificar e avaliar os atributos físicos e químicos das voçorocas em cada estágio evolutivo e em suas faces interna e externa. O mapeamento das voçorocas foi realizado a partir da imagem do ano de 2016, obtida no Google Earth, com resolução espacial de 2,34 metros, sendo realizada a avaliação qualitativa (ocorrência em superfície convexa) através do modelo digital de elevação de superfície de curvatura (MDESC), com validação no campo. Posteriormente, foi selecionada uma vertente de exposição com quatro voçorocas ocorrentes em pedofoma convexa, onde foi realizado voo utilizando o drone a fim de classificar morfologicamente as voçorocas. As voçorocas selecionadas foram divididas quanto às faces em interna e externa, onde foram coletadas amostras. Para a avaliação dos atributos químicos e físicos, foram coletadas amostras deformadas nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m e amostras indeformadas na camada de 0-0,10 m. Verificou-se que os atributos químicos e físicos do solo ocorreram de forma diferenciada quando comparados os estágios evolutivos e as superfícies (face interna e externa), na camada de 0-0,10 m, e somente quanto as faces na camada de 0,10-0,20 m. A partir das análises dos resultados verifica-se que o estágio classificado como senil apresentou as melhores condições edáficas para a face interna.

Palavras-chave: Geotecnologias. Processo erosivo. Indicadores de qualidade do solo.

3.2. ABSTRACT

In the Ribeirão Cachimbal sub-basin, Pinheiral-RJ, erosive processes are observed in the form of gullies, which is the most advanced stage of erosion processes. This process has the main consequences of removing soil mass, decreasing soil fertility, reducing water storage capacity and silting rivers and lakes. Gullies can be classified according to their evolutionary stage: initial, juvenile, mature and senile, according to their different proportions, dimensions, vegetation cover and water dynamics. Some studies were conducted in the municipality in order to elucidate the dynamics of the erosion process, however those that assess whether the physical and chemical attributes show different patterns according to the evolutionary stages and the surface (internal and external face) of gullies are incipient. Thus, the present study aimed to quantify and evaluate the physical and chemical attributes of gullies in each evolutionary stage and in their internal and external faces. The gullies were mapped based on the image of the year 2016, obtained on Google Earth, with 2.34 meters spatial resolution, with a qualitative assessment (occurring on a convex surface) using the digital curvature surface elevation model. (MDESC), with field validation. Subsequently, an exposure strand was selected with four gullies occurring in convex pedoform, where a flight was performed using the drone in order to classify the gullies morphologically. The selected gullies were divided as to the internal and external faces, where samples were collected. For the evaluation of chemical and physical attributes, deformed samples were collected in the 0-0.10 and 0.10-0.20 m layers and undisturbed samples in the 0-0.10 m layer. It was found that the chemical and physical attributes of the soil occurred in a different way when comparing the evolutionary stages and the surfaces (internal and external face), in the 0-0.10 m layer, and only as far as the faces in the 10-0.20 layer. From the analysis of the result, it appears that the stage classified as senile presented the best edaphic conditions for the internal face.

Keywords: Geotechnologies. Erosive process. Soil quality indicators.

3.3. INTRODUÇÃO

A ausência de informações técnicas em tempos pretéritos associadas a necessidade de expansão agrícola causou inúmeros danos ambientais. O desenvolvimento agrícola continua provocando uma série de consequências para os ecossistemas naturais, visto que na maioria das vezes não são realizadas as devidas práticas para a conservação do ambiente, e minimização dos impactos dessa atividade essencial a vida humana. Autores como Laurance et al. (2014) afirmam que os problemas na agricultura podem desenvolver desafios para o bem-estar humano e para a conservação ambiental.

O homem é considerado como um dos principais fatores responsáveis pelas modificações causadas em uma determinada área (Ferreira et al., 2016), atuando na ocupação, uso e manejo do solo. O desenvolvimento de práticas agrícolas inadequadas pode acarretar danos aos atributos físicos e químicos do solo, atuando na dinâmica da água, além de outras consequências. Bu et al. (2014) afirmam que o uso e manejo das terras agrícolas influenciam nas concentrações de nutrientes na água. Segundo Santos et al. (2017) o manejo inadequado pode culminar na impermeabilização do solo, aumentando o escoamento superficial e, conseqüentemente, o transporte de massa.

A erosão hídrica apresenta-se como uma das consequências do manejo inadequado do solo, contribuindo significativamente para a sua degradação, sendo considerada por Bogunovic et al. (2018) um dos principais agentes precursores da degradação do solo. Na maioria das vezes, inicia-se através do impacto das gotas de chuva no solo, o que promove a ruptura dos agregados, transformando-os em partículas individualizadas mais facilmente carregadas ao longo da paisagem pelo escoamento superficial e subsuperficial. De acordo com Marioti et al. (2013) processos erosivos podem ocorrer naturalmente ou de forma induzida, sendo acelerado pela ação antrópica.

A erosão linear consiste no início do processo erosivo, podendo se transformar em laminar e evoluir para uma voçoroca. As diferentes proporções, dimensões, coberturas vegetais e a dinâmica da água permitem que as voçorocas sejam classificadas quanto à morfologia em: inicial, juvenil, madura e senil (Oka-Fiori; Soares, 1976; Dobek et al., 2011; Queiroz, 2011).

O município de Pinheiral, localizado no estado do Rio de Janeiro, possui grande parte de sua extensão territorial compreendida pela sub-bacia do Ribeirão Cachimbal. Ao longo da sub-bacia podem ser verificadas voçorocas, que são definidas como processo erosivo de remoção de massa de solo e nutrientes em estágio avançado. De acordo com estudos realizados na área (Menezes et al., 2010; Machado et al., 2010; Santos et al., 2016, Gaia-Gomes, 2017), a ocorrência de voçorocas pode estar associada as diferentes formas de uso, ocupação e manejo do solo.

Desse modo, esse estudo teve como hipótese de que os atributos edáficos apresentam padrões diferenciados em função dos estágios evolutivos e da superfície (face interna e externa) da voçoroca. Assim, o presente estudo teve como objetivo classificar as voçorocas quanto ao seu estágio evolutivo e avaliar os atributos físicos e químicos do solo nos diferentes estágios evolutivos, e, em suas faces interna e externa.

3.4. REVISÃO DE LITERATURA

3.4.1. Bacias hidrográficas

Diversos autores definem bacia hidrográfica de diferentes formas, no entanto a maioria das definições a consideram como base a área de concentração de uma rede de drenagem. Desse modo define-se como a área de captação natural da água da chuva, compreendida por uma rede de drenagem e um conjunto de superfícies vertentes (Silveira, 2001), e pode ser composta pelos elementos topográficos: divisores de água, nascente, afluente, meandros, delta e foz. A compreensão de suas definições é fundamental nos trabalhos científicos, os quais a tomam como unidade de estudo.

De maneira geral, os estudos levam em consideração os seguintes aspectos para compreender as características fisiográficas de uma bacia hidrográfica: relevo, cobertura vegetal, regimes pluviométricos, faces de exposição, superfície de curvatura, solos presentes e sua forma. De acordo com Silva et al. (2014), a partir dos aspectos supracitados de uma bacia hidrográfica, é possível quantificar os processos hidrológicos e correlacioná-los com diferentes indicadores, quantidade e qualidade da água, assim como sua dinâmica.

Além das bacias hidrográficas, têm-se também as sub-bacias e as microbacias. As sub-bacias são definidas como bacias menores, geralmente de alguma afluente do rio principal (Machado, 2002), e com áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km² (Faustino, 1996). As microbacias são definidas como unidades menores, formadas por canais de primeira e segunda ordem (Teodoro et al., 2007).

3.4.2. Erosão hídrica

A degradação do solo é um dos principais problemas em destaque no cenário mundial, no qual a erosão hídrica é tomada como a forma mais prejudicial (Cogo et al., 2003).

A erosão hídrica tem influência principalmente os sistemas de produção, atua na degradação ambiental urbana e rural, promovendo perdas de solo, água, matéria orgânica, nutrientes, causando prejuízos econômicos (Hernani et al., 2002; Dechen et al., 2015). Na erosão hídrica ocorre a destruição dos agregados e a individualização das partículas, viabilizando o transporte dessas de um local para o outro (Ellison, 1947), tendo início a partir do impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo. Os autores Bertoni e Lombardi Neto (1999) consideram o escoamento superficial, formado durante uma precipitação, como o principal agente de transporte de partículas individualizadas. Para Oliveira (1998) e Dummer (2014) períodos longos de precipitação pluvial tendem a aumentar o fluxo de sedimentos, promovendo a origem de incisões na superfície do solo, que podem se expressar de forma difusa (erosão laminar) e concentrada (erosão linear), que engloba os sulcos, ravinas e voçorocas (Rubira et al., 2016).

a) Erosão entressulcos

A partir do escoamento superficial das lâminas d'água difusas proveniente das precipitações pluviométricas ocorre a remoção de uma fina camada do solo, não havendo a formação de canais (Figura 20). Essa erosão, para Carvalho (2008) altera as condições de fertilidade do solo, favorecendo o seu empobrecimento, assoreamento de rios e remoção de quantidades elevadas de solo. Dentre os tipos de erosão hídrica, ela é a menos constatada visualmente, no entanto é a mais prejudicial, pois atua sobre a fertilidade do solo (Flauzino, 2012). Autores como Carvalho et al. (2001) afirmam que a erosão laminar

é mais facilmente verificada em áreas rurais, visto que ela causa danos as plantações expondo as raízes e lixiviando nutrientes.



Figura 19. Erosão entressulcos. Fonte: jornalagricola.wordpress.com. Acesso em 26/08/2018.

b) Sulcos

Os sulcos (Figura 21) são considerados como um processo de transição, sendo o primeiro estágio evolutivo após a erosão laminar, no qual as linhas de fluxo de d'água de escoamento superficial difuso se concentram em pequenas depressões da superfície do solo. Nele, a lâmina d'água apresenta-se com maior tensão de cisalhamento, aumentando então a capacidade erosiva do escoamento e o potencial de desagregação do solo. Para Salomão e Antunes (1998) a erosão em sulcos pode evoluir e formar uma ravina.



Figura 20. Erosão na forma de sulcos. Fonte: Adaptado de Gaia-Gomes (2017).

c) Ravinas

Assim como os sulcos, as ravinas (Figura 22) também são consideradas como processos de transição, formando-se com a evolução dos sulcos de erosão, apresentando incisões de até 50 cm de largura e profundidade (Guerra, 2005). A formação de ravinas

ocorre a partir do momento que a velocidade do fluxo concentrado excede os 30 m s^{-1} , o que origina um regime totalmente turbulento e, conseqüentemente, o surgimento de novas incisões e canais (Ellison, 1947; Conciani, 2008). Guerra (1999) afirma que as ravinas ocorrem preferencialmente próximas a base das encostas, em que as incisões presentes tendem a aumentar em direção ao topo da encosta.



Figura 21. Erosão na forma de ravina. Fonte: <http://conservandoosolo.blogspot.com.br>. Acesso em 15/08/2018.

d) Voçorocas

As voçorocas são consideradas como o estágio mais avançado da erosão hídrica (Figura 23), e considerada por Ferreira e Ferreira (2009), como o resultado da ação conjunta da dinâmica da água precipitada, do escoamento de sedimentos sobre a superfície do solo, no escoamento superficial, subsuperficial, e subterrâneo, e, da ação antrópica. Zuquette et al. (2007) associam a maior ocorrência de voçorocas a regiões de clima tropical e subtropical, e consideram com a principal forma de erosão em bacias hidrográficas.

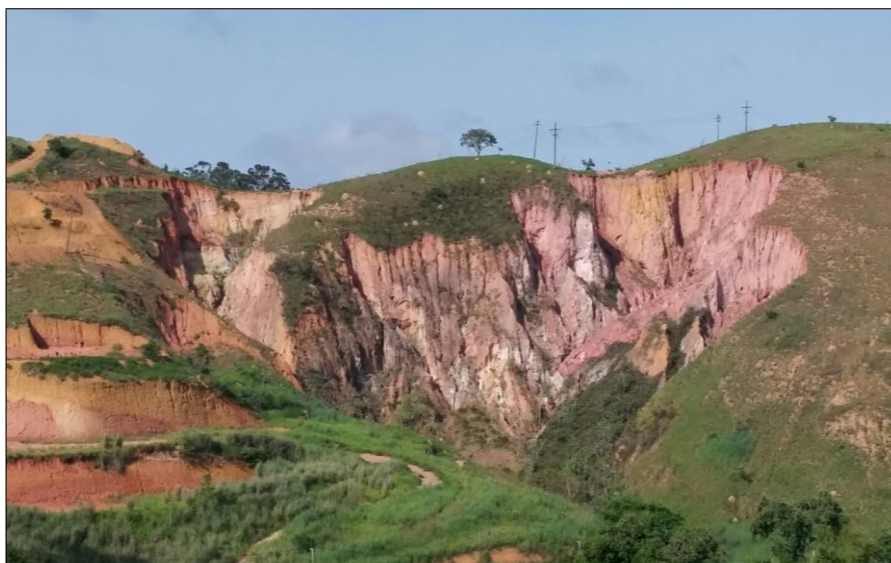


Figura 22. Erosão na forma de voçoroca. Fonte: Adaptado de Gaia-Gomes (2017).

Para Guerra (1999) e Magalhães (2001) as voçorocas são consideradas evoluções das ravinas, visto que elas se originam a partir do alargamento rápido e intenso das ravinas, tornando-se a forma erosiva com poder destrutivo superior que as demais citadas nos tópicos acima. Segundo Guerra (2005) e Pruski (2009) as voçorocas apresentam largura superior a 1 m e profundidade maior que 0,5 m, com paredes íngremes, fundo achatado atingindo o lençol freático.

3.4.3. Principais fatores do meio físico do local de estudo que afetam os processos erosivos

A erosão hídrica do solo está associada aos seguintes fatores: geologia, geomorfologia, clima e precipitação pluviométrica, relevo, cobertura vegetal do solo, uso, ocupação e manejo do solo, orientação das vertentes de exposição das elevações topográficas e radiação solar (Hudson, 1971; Streck et al., 2003; Guerra, 2005; Pissarra et al., 2005; Pruski, 2006; Flauzino, 2012). A seguir são apresentados os fatores condicionantes supracitados. Segundo Morgan (1986) é de fundamental importância a identificação desses fatores, relacionando-os com os processos erosivos, ou seja, deve-se compreender como, onde e porque ocorre a erosão.

a) Geologia

A região da sub-bacia pertence a feição tectônica do grupo Paraíba do Sul, onde estão distribuídas rochas de diferentes graus de metamorfismo (Menezes, 1999; Machado et al., 2010). Oliveira (1998) e Menezes (1999) afirmam que as rochas metamórficas predominantes na região são: oroto e paraderivadas de alto grau metamórfico, tendo como principais rochas os gnaisses porfiroclástico, biotita gnaiss, muscovita biotita gnaiss e as intrusões diabásicas

Os autores supracitados definem o gnaiss porfiroclástico como um gnaiss fino bandeado com saprolítico, e possui sua mineralogia composta por feldspatos potássicos, quartzo, e biotita plagioclásio. A biotita gnaiss tem como composição mineralógica base a biotita, plagioclásio, quartzo e microlina. Já a muscovita biotita gnaiss possui mineralogia composta por feldspato potássico, muscovita e quartzo. As intrusões diabásicas são afloramentos de pequeno tamanho, composta por plagioclásio, piroxênio e minerais opacos.

b) Geomorfologia

A geomorfologia apresenta o domínio das faixas de dobramentos remobilizados, cuja formação deve-se a fenômenos tectônicos (Santos, 2009). A formação morfo-estrutural da sub-bacia estudada é delimitada pelo delineamento estrutural no sentido Sudoeste-Nordeste (Santos, 2014). Ab'Saber (1996, 1997) afirma que isso explica o relevo acidentado que caracteriza a feição geomorfológica da região, conhecida como "Mar de Morros", onde estão presentes diversos vales estruturais, formando uma rede de drenagem ampla e diversificada (Oliveira, 1998).

Na sub-bacia predominam as colinas situadas nas encostas com cobertura do tipo rampa de colúvio. Cortando essa formação, observam-se vales estruturais que condicionam a drenagem local, formando pequenas várzeas até encontrar a área de influência da grande várzea do Paraíba do Sul. As principais feições geomorfológicas são: bancadas arenosas, várzeas ou planícies de inundação, terraços fluviais, terraço alúvio-coluvionar, rampas de colúvio, colinas estruturais aplainadas, colinas estruturais isoladas,

encostas de talus, encostas estruturais dissecadas, encostas adaptadas a falhamentos, vales estruturais, interflúvios estruturais e canais meandrantos (Oliveira, 1998).

c) Clima e precipitação pluviométrica

Ao considerar a precipitação pluviométrica como um fator atuante no desenvolvimento de processos erosivos, é fundamental entender o seu funcionamento no desprendimento das partículas do solo. A precipitação pluviométrica atua como um dos principais fatores climáticos no processo erosivo, fornecendo a energia cinética necessária para a ocorrência da erosão hídrica (Bertoni; Lombardi Neto, 1999).

A água atua desprendendo e movimentando os sedimentos, no escoamento superficial e subsuperficial, alterando morfologicamente a paisagem (Salomão, 1999). Quanto maior for a intensidade e a duração da precipitação pluviométrica, maior será o volume da enxurrada, distância percorrida e a sua velocidade, promovendo maior perda de solo (Pruski, 2006).

Segundo Pruski (2009) as características mencionadas anteriormente, podem ser definidas como um indicador chamado de erosividade da chuva. A erosividade depende da intensidade com que ocorrem as precipitações e da energia cinética de impacto das gotas, que quanto maior for, maior será a possibilidade de ocasionar a ruptura dos agregados (Wischmeier; Smith, 1958), podendo ser utilizada para identificar os meses de maior risco para a ocorrência do processo erosivo (Silva et al., 2009). Para Ellison (1947), o impacto das gotas de água oriundas da chuva pode mover as partículas cerca de 60 cm de altura e 1,5 m de distância.

O clima da região do estudo é classificado como Cwa - clima temperado de inverno seco e verão chuvoso, e Am - clima tropical chuvoso com inverno seco, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (Koppen, 1948) e Aw – inverno seco (Alvares et al., 2014). A temperatura média máxima é de 30,9 °C em janeiro e de 16,8 °C em julho, ficando a média anual em torno de 22 °C (Toledo, 2002; Machado et al., 2010) e a precipitação média varia entre 1300 a 1500 mm ano⁻¹ (Machado et al., 2010).

d) Relevos

O relevo é composto por distintas características que influenciam a dinâmica de uma sub-bacia e a ocorrência de processos erosivos. Dentre elas destacam-se: comprimento da rampa, declividade e forma da encosta (Carvalho et al., 2008; Miquelone et al., 2012). Para Guerra (2007) essas características influenciam diretamente na velocidade de escoamento superficial.

A declividade e o comprimento de rampa, em ação concomitante, atuam interferindo no escoamento superficial, influenciando sua velocidade e lâmina e, conseqüentemente, na quantidade de solo que é carregado pela água. A declividade é definida como o ângulo de inclinação da superfície local em relação a um plano horizontal, influenciando diretamente na pedogênese, condicionando o potencial de erosão, a infiltração e retenção de água no solo (Schmidt et al., 2003). Ao estudar a bacia hidrográfica do rio Sapucaí (MG), os autores Durães e Mello (2016) observaram maior potencial erosivo nas declividades mais elevadas e em relevos mais movimentados, sendo o mesmo padrão observado por Silveira et al. (2013).

Castro et al. (2006) consideram que o relevo é o principal fator que influencia os processos erosivos, visto que, afetam a infiltração, o armazenamento superficial, o escoamento superficial, a refletância solar, a liberação e o transporte de partículas associadas à erosão hídrica e o perfil do vento sobre a superfície do solo. Considerando relevos mais planos a água tende a escoar lentamente e a infiltrar, já em relevos mais

movimentados o escoamento superficial possui maiores velocidades propiciando maior susceptibilidade à perda de solo. Para Pruski et al. (2004) o escoamento superficial está associado à erosão hídrica e é viabilizado quando a taxa de infiltração de água no solo é menor que a intensidade da precipitação. Os autores ainda afirmam que apesar do impacto das gotas de chuva, promova o desprendimento das partículas do solo, é o escoamento superficial da água que promove o carreamento das partículas de solo liberadas para áreas em que ocorre o escoamento concentrado.

As formas da encosta, segundo Guerra & Cunha (1996) e Neto (2013), condicionam a direção do escoamento superficial, podendo ser concentrado e difuso. Elas são definidas na literatura como feições topográficas ou também como pedoformas, que podem ser classificadas como linear, côncava ou convexa e as diferentes combinações dessas formas. Na pedoforma côncava, ocorre a convergência dos fluxos d'água, propiciando uma erosão localizada, já na pedoforma convexa, ocorre a divergência dos fluxos d'água, provocando uma erosão uniforme (Lepsch, 2002; Flauzino, 2012).

Silva et al. (2007) e Epósito et al. (2010) consideram que na dinâmica das encostas, as pedoformas côncavas apresentam-se como zonas preferenciais para ocorrência de processos erosivos, como deslizamentos, em razão da convergência dos fluxos d'água, o que não corrobora para Sanchez et al. (2009) e Barros et al. (2016), pois consideram que as maiores perdas de solo e o maior potencial erosivo estão associados as pedoformas convexas.

Segundo Sanchez et al. (2009), em regiões onde o solo e as práticas de manejo são as mesmas, as características do relevo se mostraram responsáveis pela perda de solo e aumento da susceptibilidade a erosão.

e) Orientação das vertentes de exposição

Entende-se como orientação das vertentes como a direção da declividade, medida a partir do Norte aumentando em sentido horário, com variação de 0° a 360° (Esri, 1994; Pinheiro, 2012). Para Santos (2014) define-se como a medida do ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial, expressa em azimute, variando de 0° a 360°. A orientação das vertentes é muito importante para entender o comportamento da vegetação, do solo, da radiação solar, temperatura e umidade (Carvalho Junior, 2005; Pinheiro, 2012).

No hemisfério sul as vertentes orientadas para o norte são superfícies com incidência de radiação mais elevada (Sirtoli et al., 2008). O que corrobora com Marques et al. (2005), que ao estudar as vertentes do Estado do Rio de Janeiro verificou que as orientações para norte e nordeste são mais secas. Ao realizar a caracterização morfométrica da sub-bacia do ribeirão Cachimbal, Gaia-Gomes (2017) verificou que na presente sub-bacia ocorre predomínio das classes noroeste e norte, respectivamente 17,2 % e 16,3 % da área (Figura 24).

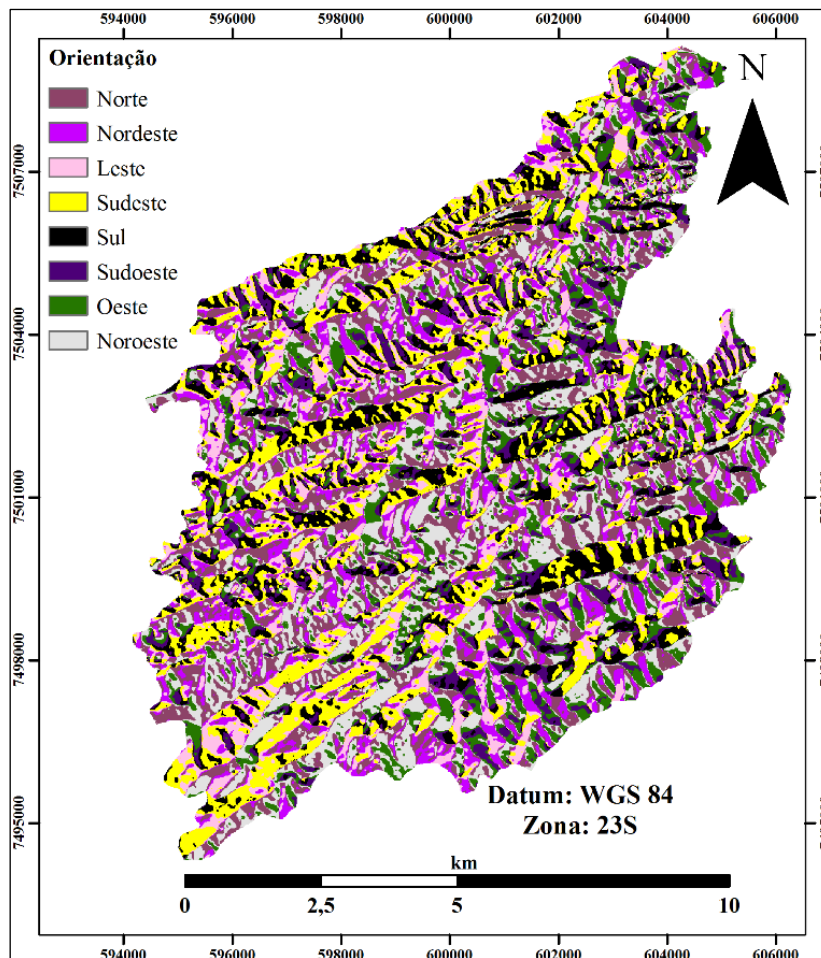


Figura 23. Mapa de orientação de vertentes da sub - bacia do ribeirão Cachimbal.
 Fonte: Adaptado de Gaia-Gomes (2017).

De acordo com Fu & Rich (2000), a variação da orientação de vertentes associada à altimetria e a declividade, interfere no sombreamento causado pelas feições geomorfológicas, formando gradientes, que atuam na distribuição de energia e no fluxo de água.

f) Radiação solar global

A radiação solar global é definida como toda a energia que alcança a superfície terrestre, por meio de ondas curtas (Vianello & Alves, 2012). Ela é condicionada pela orientação das vertentes e pela declividade e atua influenciando diretamente os atributos edáficos de modo a fornecer energia para que os processos físicos e biológicos do solo ocorram. O cálculo da radiação solar global pode ser obtido, utilizando algoritmo desenvolvido por Rich et al. (1994), modificado por Fu & Rich (2000). Essa simulação envolve uma representação no formato raster, que exibe a posição aparente do sol, calculada com base na latitude da área de estudo e variando de acordo com a hora do dia e os dias do ano. As classes consideradas foram < 1.500.000, 1.500.000 – 1.600.000, 1.600.000 – 1.700.000 e > 1.700.000 Watts.

Gaia-Gomes (2018) ao realizar a caracterização morfométrica da sub-bacia do Ribeirão Cachimbal, obteve o modelo que representa a incidência da radiação solar na sub-bacia, onde foi verificada grande variação na porcentagem de área de incidência, com valores entre 63,4% e 6,4% (Tabela 3 e Figura 25).

Tabela 3. Distribuição da radiação solar (KWH/m²/ano).

Classes	Área (%)
< 1.500.000	12,5
1.500.000-1.600.000	17,7
1.600.000-1.700.000	63,4
> 1.700.000	6,4

Santos (2014) afirma que essa variação ao longo da sub-bacia possibilita o surgimento de zonas com diferentes umidades de solo. Estudando a dinâmica de regeneração natural, Chami et al. (2011) e Callegaro et al. (2012) observaram que a luminosidade proveniente da radiação solar é muito importante para a regeneração, pois influencia no desenvolvimento das plantas, catalisando todo o processo de crescimento.

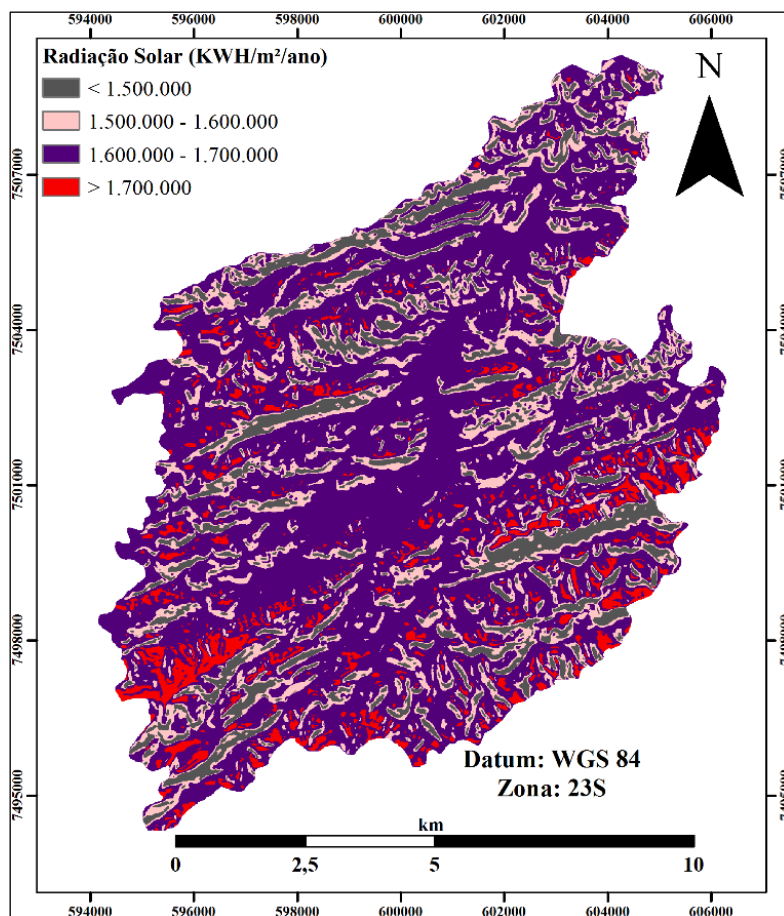


Figura 24. Mapa da radiação solar global da sub - bacia do ribeirão Cachimbal. Fonte: Adaptado de Gaia-Gomes (2017).

3.4.4. Fatores relacionados ao solo e a seu manejo que afetam os processos erosivos

a) Propriedades dos solos

O solo é um recurso natural não renovável, em que seu uso inadequado pode acarretar nos processos erosivos. A degradação do solo, de forma majoritária está diretamente relacionada a cultivos conduzidos irregularmente, a adoção de práticas inapropriadas, de maneira geral proveniente de ações do antrópicas.

Os atributos edáficos afetam na forma e intensidade que o processo erosivo pode desencadear e que as diferentes características físicas e químicas dos solos são fundamentais na definição da dinâmica da água, podendo influenciar no desprendimento e transporte de partículas do solo (Castro et al., 2004).

Os atributos físicos, estrutura, agregação e porosidade influenciam na capacidade de infiltração da água e no arraste das partículas de solo. A redução da estabilidade dos agregados favorece a individualização das partículas e aumenta o escoamento superficial, e conseqüentemente o risco de erosão (Oliveira, 2011). Outro atributo físico a ser considerado é a espessura, onde solos menos espessos tendem a apresentar potencial erosivo mais elevado em comparação a solos mais profundos. Dessa forma a presença do contato lítico (Santos et al., 2013) próximo a superfície favorece esse processo. Neste caso, a erosão ocorre devido à saturação dos horizontes do perfil, que após essa etapa, iniciam o processo de escoamento superficial, aumentando a possibilidade de arraste e transporte de partículas (Salomão, 1999). Ele também pode ser favorecido em solos que apresentam horizontes de acumulação de argila textural (Bt), plânico ou nítico (Santos et al., 2013). A presença desse horizonte diminui o fluxo interno de água acentuando o processo erosivo.

Na região em que a sub-bacia está inserida são verificadas diversas classes de solo, isto é devido as diferentes condições de formação de solos que o relevo local proporciona. Ao longo da região são verificados solos de diferentes cronologias e origens, sendo os mais jovens ocorrentes nas partes mais baixas da paisagem e os mais velhos nas partes mais elevadas (Ab'Sabe, 1970). Os solos predominantes na sub-bacia do ribeirão Cachimbal, conforme Oliveira (1998), Menezes (2008), Santos (2009) e Machado et al. (2010), são: no topo e terço superior da encosta os Latossolos Vermelho-Amarelos; na encosta os Argissolos Vermelho-Amarelo e Cambissolos Háplicos; e nas baixadas Neossolos Flúvicos, Gleissolos e Planossolos. Outras classes de solo não predominantes, porém, ocorrentes: Chernossolos, Gleissolos Húmico e pouco Húmico (Menezes, 1999).

Segundo Bono (1994), processos erosivos ocorrentes em pastagens sob locais onde predominam os Cambissolos, a erosão apresentou os maiores índices de perda de solo, podendo esse padrão estar associado às características físicas no qual ocorrem os Cambissolos: declividade acentuada, baixa macroporosidade e baixa permeabilidade.

A classe dos Argissolos, na área supracitada, apresenta-se facilmente erodível e com baixa fertilidade, devido a associação entre elevado intemperismo do material de origem, relevo com alta declividade e drenagem moderada ou acentuada (Menezes, 1999). Santos (2002) ainda relaciona esse padrão com a presença de horizonte C muito profundo e friável, apresentando grande susceptibilidade à formação de processos erosivos em estágio avançado, as voçorocas.

b) Cobertura vegetal das terras

A cobertura vegetal apresenta-se como condicionador fundamental na capacidade de infiltração e armazenamento de água, pois ela pode promover a proteção do solo contra os agentes erosivos (Franco, 2015). A incidência de precipitação pluviométrica intensa ao incidir sobre o solo, caso ele não esteja coberto, a camada superficial do solo pode sofrer compactação devido ao impacto direto das gotas da chuva, e a infiltração será reduzida. No entanto, solos cobertos por cobertura vegetal, quando a chuva incide sobre as mesmas, permanece com boa permeabilidade e terá maior velocidade de infiltração (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

Solos cobertos com vegetação ou resíduos vegetais, são menos susceptíveis à erosão hídrica, pois a cobertura superficial dissipa a energia da chuva, atuando como proteção para a superfície do solo, aumentando então a infiltração, diminuindo o

escoamento superficial e a erosão hídrica e influenciando na atividade dos microorganismos (Castro et al., 2006; Martins Filho et al., 2009).

Os autores supracitados, afirmam que áreas descobertas e fisicamente degradadas, tendem a apresentar alta erosão hídrica em decorrência da ação direta do impacto das gotas da chuva que desagregam e transportam partículas de solo (Castro et al., 2006), provocam selamento superficial, diminuem a retenção, infiltração e redistribuição de água no solo e aumentam o volume de escoamento superficial (Schick et al., 2000; Oliveira et al., 2012).

c) Uso, ocupação e manejo das terras

O uso, ocupação e o manejo das terras, quando desenvolvidos inadequadamente podem vir a contribuir negativamente para a manutenção da qualidade edáfica e ambiental, influenciando no aumento da sustentabilidade a processos erosivos. As alterações dos atributos edáficos são intensificadas pelo uso inapropriado e intenso do solo Santos et al. (2011). Salienta-se que a ação humana acelera os processos erosivos por meio do uso, ocupação e manejo intensivo do solo, removendo gradativamente as camadas superficiais do solo, chegando a formar sulcos, ravinas e voçorocas (Endres et al., 2006; Sousa, 2010).

A adoção de práticas presentes em um manejo adequado, apresenta-se como principal alternativa para evitar a ocorrência de processos erosivos, principalmente a erosão hídrica. Através de práticas conservacionistas é possível verificar melhorias nas condições de infiltração de água no solo e diminuição do escoamento superficial, promovendo menor perda de solo e maior conservação do solo (Borges et al., 2014). Em sua maioria as práticas conservacionistas têm por princípio o não revolvimento do solo e a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo.

A presença de cobertura vegetal na superfície, é considerada como o principal fator na redução da velocidade do escoamento superficial, já que a supressão da vegetação pode provocar a saturação do solo no período de precipitações intensas. Sendo assim o uso e o manejo do solo devem ser realizados adequadamente visando à manutenção da qualidade do solo e o combate à erosão hídrica (Pruski, 2009).

Na região da sub-bacia, durante o período colonial, as florestas nativas foram substituídas pela cultura do café, e com o passar dos anos as áreas tomadas pelo café foram sendo abandonadas ou substituídas por pastagens (Menezes, 1999; Machado 2007). Durante os primeiros anos de ocupação, os solos da região apresentavam boas condições de fertilidade, período em que o ciclo do café estava no auge da economia local (Pereira, 2005). Gestin (2006) e Machado (2007) afirmam que o uso contínuo do solo associados a práticas de manejo inadequadas, associados ao relevo acidentado da região, culminou na perda da camada superficial do solo e na sua fertilidade.

Como consequência de algumas dificuldades de adaptação climática, logo o cafeeiro foi avançando para as terras mais altas, a princípio nas proximidades da cidade do Rio de Janeiro, onde encontraram-se condições mais favoráveis de desenvolvimento (Dean, 1996; Drummond, 1997), o que foi fato decisivo para o desenvolvimento da cafeicultura brasileira da época, e expansão para o interior do estado.

As condições climáticas mais favoráveis das áreas altas do interior foram decisivas para que nelas houvesse a instalação da cultura. Temperaturas mais baixas, estação seca mais pronunciada e com início das chuvas induzindo a floração, favorecendo a colheita e secagem dos grãos, solos bem drenados e com boa fertilidade remanescente da biomassa da própria floresta, possibilitaria o desenvolvimento da cultura por certo tempo (Menezes, 2008).

Dessa forma o padrão de ocupação supracitado levou ao desnudamento progressivo de praticamente todo o Vale do Paraíba do Sul. As florestas primárias, que haviam sido pouco alteradas por alguns milhares de anos de ocupação indígena e por mais de 250 anos de colonização europeia, foram quase totalmente destruídas entre 1790 e 1860 (Drummond, 1997).

De acordo com Dean (1996), outras atividades associadas a pequena e média agricultura de subsistência e produção para o mercado interno, também contribuíram para a degradação do ambiente no domínio da Mata atlântica. Dentre as atividades, destacam-se, expansão de áreas de pastagem, devido a crescente prática de criação de animais; atividade de extração de lenha para uso doméstico, comercial e para a produção de bens de consumo; retirada de barro nas planícies aluviais e criação de gado (extensivo e leiteiro) (Menezes, 2010).

3.4.5. Estudos relacionados a processos erosivos na área da sub-bacia estudada

Machado (2007) avaliou os atributos do solo, relevo, clima e a eficiência de práticas de conservação do solo para estabilização e recuperação de voçorocas, em três voçorocas, sendo uma sem intervenção, uma com intervenção e uma já recuperada. O autor concluiu que os atributos do solo avaliados apresentaram padrão similar nas três voçorocas; os baixos teores de carbono e nitrogênio indicaram elevado grau de degradação do solo das áreas das voçorocas; o grau de erosão diferente na área ao redor das voçorocas influenciou na variabilidade espacial dos atributos do solo; a voçoroca sem intervenção apresentou maior perda de nutrientes; a revegetação com leguminosas apresentou elevado potencial para ser utilizado na recuperação de processos erosivos em estágio avançado.

Gaia-Gomes (2017), avaliou o efeito dos atributos do solo e da morfologia da sub-bacia do Ribeirão Cachimbal como condicionantes no processo erosivo em diferentes feições topográficas (pedoformas), côncava e convexa, com a finalidade de gerar informações que contribuam nos programas de recuperação de áreas degradadas. Dessa forma, foi realizada a caracterização morfométrica, classificação qualitativa e quantitativa das voçorocas, e a quantificação dos atributos edáficos em duas voçorocas, uma em cada pedoforma. Foi realizado o mapeamento de todas as voçorocas ocorrentes na área de estudo a partir da imagem do ano de 2015, disponível Google Earth Pro, com resolução espacial de 2,34 m.

O autor supracitado concluiu que a sub-bacia possui os atributos morfométricos distribuídos de forma heterogênea e são considerados como condicionantes na formação de processos erosivos; a área possui vertentes íngremes, com declividade e índice de rugosidade elevados; a área possui 30 voçorocas, sendo 6 unidades ocorrentes em pedoforma côncava e 24 em pedoforma convexa; Os atributos químicos e físicos do solo apresentam-se de forma diferenciada quando comparados os ambientes interno e externo, não diferindo quanto à pedoforma.

3.4.6 Importância da abordagem de processos erosivos na política de conservação de solos e na qualidade dos recursos hídricos

Pode-se considerar a erosão hídrica como um importante processo que ocorre na paisagem, atuante na dinâmica da água nos solos. Ela está associada a diferentes fatores e eventos citados anteriormente, e tem papel fundamental para tomada de decisões dentro da política de conservação de solos e pode influenciar diretamente na qualidade dos recursos hídricos.

A região do Médio Vale Paraíba do Sul possui como rio principal o Paraíba do Sul, que por sua vez é ponto exutório do rio Ribeirão Cachimbal principal rio da sub-bacia estudada na presente tese. O rio Paraíba do Sul atravessa três estados brasileiros e sofre influência da região metropolitana de São Paulo até a divisa com o Rio de Janeiro (24%); do sudeste mineiro (37%) e do território fluminense (39%) (DAEE, 1977). Ele tem origem nos rios Paraitinga e Paraibuna que nascem respectivamente na Serra da Bocaina a 1800 m de altitude e na Serra do Mar a 1200 m. Seus afluentes percorrem a direção Sudeste nas montanhas da Serra do Mar, após a confluência segue na direção Oeste até Guararema onde é barrado pela Mantiqueira, invertendo o fluxo para Nordeste e para Leste até desaguar no oceano, em São João da Barra, RJ, com total de 1200 km de extensão (Ab'Saber, 2000).

Segundo dados da CEIVAP (2002) e Machado (2007) a região do Médio Vale Paraíba do Sul está inserida na área de abrangência do Bioma Mata Atlântica, que na época do estudo estava reduzida a 7% de sua extensão original e a 11% no Vale do Paraíba do Sul, com remanescentes mais expressivos, parcialmente protegidos em Unidades de Conservação de importância Nacional.

A vegetação de Mata Atlântica da região do Médio Vale Paraíba sofreu bastante alterações, sendo pouco representativa da situação original. De acordo com Dias (1999) em meados do século XIX, a região foi considerada 'Área de Excelência Nacional', com alta produtividade de café. O desmatamento ocorrido no período do ciclo do café reduziu a cobertura florestal natural de 82 % da área original para cerca de 5 % (Devide et al., 2014). Machado (2007) ressalta que após o declínio do café, foram implantadas pastagens, para criação de gado e que o uso intenso relacionado a prática extensiva, promoveu o a compactação do solo e intensificação dos processos erosivos, tendo como resultados a ocorrência de voçorocas.

De acordo com o Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Paraíba do Sul (CEIVAP,2002), 20% da área da bacia do Médio Vale Paraíba do Sul é classificada como terras de alta e muito alta vulnerabilidade à erosão, cerca de aproximadamente 1 milhão de hectares. A CEIVAP (2002) classifica a área de Pinheiral, que possui toda sua extensão compreendida pela sub-bacia de estudo da tese, como 88% de seu território classificado com alta ou muito alta vulnerabilidade à erosão. Machado (2007) afirma que a região do Médio Vale Paraíba do Sul, é considerada a mais crítica, com elevada produção de sedimentos que pode ser verificada pela turbidez da água do rio Paraíba do Sul.

Devide et al. (2014) afirma que através da ocupação predatória, mais de um milhão de hectares no Médio Vale do Paraíba tornaram-se vulneráveis à erosão, levando ao assoreamento do rio Paraíba do Sul e reservatórios do sistema Light – CEDAE, comprometendo o abastecimento de água para a região metropolitana do Rio de Janeiro.

A ocorrência e intensificação de processos erosivos deve ser analisada com atenção, pois vêm acelerando o assoreamento do rio Paraíba do Sul, o que compromete o abastecimento de água para os municípios e para a região metropolitana do Rio de Janeiro. A erosão e o transporte de sedimentos comprometem a qualidade da água que abastece os reservatórios e o atual carregamento de sedimentos para os reservatórios devido ao uso inadequado dos recursos naturais, pode reduzir o tempo de concentração, aumentando consequentemente a erosividade dos solos (Ranzini et al., 2004).

Nesse contexto, a prática de ações que visam a mitigação da degradação do solo, a partir de medidas preventivas e corretivas que viabilizam o fornecimento de informações para que sejam utilizadas no controle de processos erosivos e recuperação de áreas degradadas devem ser postas em prática, visto que, apresentam elevado potencial para melhorar a qualidade edáfica e minimizar o assoreamento dos rios.

3.5. MATERIAL E MÉTODOS

3.5.1. Localização da área de estudo

Apresentado no tópico 2.5.1 do Capítulo 1.

3.5.2. Caracterização do meio físico

Apresentado no tópico 2.5.2. do Capítulo 1.

3.5.3. Mapeamento e Classificação qualitativa das voçorocas

Apresentado no tópico 2.5.3. do Capítulo 1

3.5.4. Classificação morfológica das voçorocas

Apresentado no tópico 2.5.4. do Capítulo 1.

3.5.5. Coletas das amostras de solo

As voçorocas selecionadas foram divididas quanto as faces em interna e externa. Para a avaliação dos atributos químicos e físicos, foram coletadas amostras deformadas nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m e amostras indeformadas na camada de 0-0,10 m. Na voçoroca classificada como inicial, foram coletadas 10 amostras deformadas e 10 indeformadas, na juvenil 12 amostras deformadas e 12 indeformadas, na madura 16 amostras deformadas e 16 indeformadas e na senil 18 amostras deformadas e 18 indeformadas para as duas camadas. Vale salientar que os pontos amostrais foram selecionados de forma casualizada. Na coleta das amostras indeformadas foi utilizado o anel de Kopeck.

Após a coleta, as amostras deformadas foram secas, destorroadas e passadas por peneira de 2 mm, obtendo-se então a terra fina seca ao ar (TFSA), conforme Santos et al. (2015).

3.5.6. Análises de solo

Apresentado no tópico 2.5.6 do Capítulo I.

3.5.7. Análises dos atributos químicos do solo

Foram determinados os valores de pH em água, teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , K^+ , Na^+ , P e H+Al, segundo Teixeira et al. (2017). Os teores de carbono orgânico total (COT) foram quantificados segundo Yeomans e Bremner (1988). Foram calculados o Valor S (soma dos teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio) e os Valores T, e V% conforme equações 5 e 6 respectivamente:

$$T = \text{Valor S} + \text{H}^+ + \text{Al}^{+3} \quad (5)$$

$$V\% = 100 * \left(\frac{\text{Valor S}}{\text{Valor T}} \right) \quad (6)$$

3.5.8. Análises dos atributos físicos do solo

Para os atributos físicos, determinou-se a densidade do solo (D_s) e densidade das partículas (D_p) conforme método descrito por Teixeira et al. (2017), sendo calculado o volume total de poros (V_{tp}), de acordo com a equação 7:

$$V_{tp} = 1 - \left(\frac{D_s}{D_p} \right) \quad (7)$$

Foi realizada a análise granulométrica, onde foram quantificadas as seguintes frações do solo: areia total (g kg^{-1}), areia grossa (g kg^{-1}), areia fina (g kg^{-1}), argila total (g kg^{-1}), argila natural (g kg^{-1}) e silte (g kg^{-1}) (Teixeira et al., 2017). A partir dos resultados da análise granulométrica foi calculado o grau de flocculação (GF%), pela equação (8):

$$GF = \frac{\text{argila total (g kg}^{-1}) - \text{argila natural (g kg}^{-1})}{\text{argila total (g kg}^{-1})} \times 100 \quad (8)$$

3.5.9. Análise estatística

Após a identificação e classificação dos estágios evolutivos das voçorocas, foi realizada a avaliação das possíveis diferenças entre os estágios evolutivos e as faces das voçorocas, por meio do teste de Kruskal-Wallis a 5% de significância este consiste em um teste não paramétrico.

Para a avaliação das possíveis correlações entre as variáveis, foi realizado o teste correlação de Pearson a fim de analisar a correlação entre as variáveis das voçorocas analisadas. O teste foi realizado considerando-se como diferença estatística significativa uma probabilidade menor que 5% ($p < 0,05$). Para a realização da análise foi utilizado o software XLSTAT.

Posteriormente, executou-se a análise dos componentes principais (ACP) aplicando o programa XLSTAT, com a finalidade de se verificar quais variáveis químicas e físicas poderiam ser utilizadas para apontar similaridade ou dissimilaridade entre os estágios evolutivos e as faces das voçorocas.

3.6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 são apresentadas as porcentagens de área das superfícies de curvatura, na qual é possível verificar que a classe plana representa a maior porcentagem de área da Sub-bacia totalizando 59,3%, já o menor valor de área foi observado para a classe côncava, totalizando 19,1%.

Tabela 4. Distribuição da superfície de curvatura em classes.

Classes	Área (%)
Côncava	19,1
Plana	59,3
Convexa	21,6

Para Arthur et al. (2014) as superfícies côncava, plana e convexa influenciam na quantidade de produção de sedimentos, assim como, na intensidade e direção do fluxo de água no perfil do solo. Segundo Aumond et al. (2014) as superfícies côncavas se caracterizam por apresentarem: condições microclimáticas, topográficas e de radiação solar, direcionados para seu interior, promovendo maior concentração de matéria e energia. Ainda segundo o autor, nessa pedofoma pode ocorrer processos de acumulação de água, sedimentos, minerais e matéria orgânica.

Por sua vez, a pedofoma convexa apresenta dinâmica hídrica diferenciada, na qual a partir do escoamento superficial de água e sedimentos, associados aos os fluxos externos e internos de matéria e energia, levam à dissipação de energia e perdas por erosão e lixiviação (Aumond et al., 2014).

Os atributos químicos e físicos do solo na camada de 0-0,10 m, das voçorocas em estágio inicial, juvenil, madura e senil, obtidos de amostras dos seus ambientes internos e externos são apresentados na Tabela 5 e 6, respectivamente.

Quanto às frações granulométricas, para a argila natural verificaram-se diferenças entre os estágios evolutivos juvenil e madura, juvenil e senil na face externa. Foram observadas diferenças apenas na juvenil, com os maiores valores ocorrendo na face interna. O padrão observado pode estar associado ao processo de estabilização que tende a ocorrer entre os estágios maduro e senil, em que o carreamento de partículas ocorre mais lentamente, diferente ao estágio juvenil, em que se observa maior intensidade do processo erosivo e, conseqüentemente, maior remoção de sedimentos.

Para a fração argila total, foram observadas diferenças entre os estágios inicial e madura, inicial e senil, juvenil e madura, juvenil e senil na face externa, com os maiores valores quantificados na face externa das voçorocas classificadas em madura e senil. As diferenças foram verificadas entre os estágios de início do processo erosivo (inicial e juvenil) e os de transição/estabilização (madura e senil). O carreamento de frações de menor granulometria, como a argila, pode se desenvolver com menor intensidade nos processos de transição/estabilização, pois neles o escoamento superficial ocorre em menor intensidade, devido à presença de cobertura vegetal, e colonização de espécies vegetais, provenientes do escorrimento de massa.

Tabela 5. Médias dos atributos físicos do solo das voçorocas em estágio Inicial, Juvenil, Madura e Senil, na camada de 0-0,10 m nas face interna (I) e externa (E).

Estágio	Argila Natural		Argila Total		Areia Total	
	I	E	I	E	I	E
Inicial	101,90aA	75,30abA	263,00aA	252,00cB	576,80aA	532,70abA
Juvenil	131,65aA	37,00bB	301,00aA	284,70bcB	516,90abA	540,00aA
Madura	124,81aA	97,20aA	336,70aA	372,31aA	477,31abA	421,13cB
Senil	101,40aA	104,25aA	263,25aA	334,56abA	425,65bA	428,38bcA
Estágio	Areia Fina		Areia Grossa		Silte	
	I	E	I	E	I	E
Inicial	129,20aA	133,80abA	447,20aA	398,90abA	160,20bB	214,50aA
Juvenil	131,82abA	138,83aA	385,10abA	403,70aA	181,20bA	175,30aB
Madura	96,87bA	88,75cB	380,40abA	332,40bA	186,10bB	206,60aA
Senil	103,50abA	100,31bcB	322,20bA	337,30abA	311,10aA	237,10aA
Estágio	Grau de Flocculação (%)		Ds (Mg m ⁻³)		Dp (Mg m ⁻³)	
	I	E	I	E	I	E
Inicial	61,71aB	69,10bA	1,12abA	1,47aA	2,48aA	2,37aA
Juvenil	51,81aA	86,38aA	1,10bB	1,42aA	2,39aA	2,36aA
Madura	60,36aA	73,61abA	1,14bB	1,44aA	2,35abA	2,26aA
Senil	56,40aB	68,68bA	1,28aA	1,43aA	2,28bB	2,33aA
Estágio	VTP (%)					
	I	E				
Inicial	54,60aA	37,70aA				
Juvenil	55,72aA	39,60aA				
Madura	51,56aA	35,88aA				
Senil	43,80bA	38,44aB				

Letras minúsculas iguais na coluna, para cada estágio evolutivo, e letras maiúsculas iguais na linha para cada face, não diferem pelo teste de Kruskal-Wallis a 5% de significância. I: face interna da voçoroca; E: face externa da voçoroca; Ds: densidade do solo; Dp: densidade das partículas; VTP: Volume total de poros.

Os maiores valores do grau de flocculação foram verificados na face externa da voçoroca juvenil, diferindo entre inicial e juvenil e juvenil e senil. Para esse atributo, verificou-se diferença entre as faces interna e a externa dos estágios inicial e senil. O grau de flocculação é inversamente proporcional aos teores de argila natural, sendo que solos com menores valores apresentam maior vulnerabilidade a erosão hídrica (Lima et al., 2013). O padrão verificado pode estar relacionado à remoção das partículas de argila que se encontram naturalmente dispersas, como consequência do processo erosivo, permanecendo apenas as que se encontram flocculadas, o que irá contribuir para o aumento relativo do grau de flocculação. Segundo Ayer et al. (2015) valores menores de grau de flocculação resultam da ausência de conservação do solo e o manejo inadequado, favorecendo a destruição dos agregados e redução da permeabilidade do solo.

Para a fração areia total, os maiores valores foram verificados na face interna da voçoroca inicial, o mesmo padrão foi observado para a areia grossa. As voçorocas classificadas como inicial e senil apresentaram diferença entre si também para os dois atributos físicos supracitados na face interna. Já na face interna para as voçorocas estágio inicial e madura, juvenil e madura foram observadas diferenças, não corroborando com o

observado para a fração areia grossa para a qual só foi verificada diferença entre juvenil e madura. Quanto às faces só foram observadas diferenças para a voçoroca madura. O padrão observado pode estar associado ao escoamento superficial, que tende a ocorrer com maior intensidade no estágio inicial e juvenil, carreando partículas da face externa para a interna, e como consequência, permanecendo estacionário no interior da voçoroca, até que a dinâmica da água modifique esse padrão.

Os menores valores da fração areia fina foram quantificados na face interna da voçoroca madura. Foram verificadas diferenças para ambas as faces entre os estágios inicial e madura, e na face externa entre juvenil e madura e juvenil e senil. Menores valores de areia fina estão relacionados também ao escoamento superficial. As frações de granulometria menor diâmetro necessitam de menor energia cinética para serem transportadas. Através da análise da Tabela 6, verifica-se um decréscimo desse atributo na voçoroca classificada como madura e posterior aumento na senil, indicando um estágio transicional seguido de uma possível estabilização.

Para a fração silte, o maior valor foi observado na face interna da voçoroca senil, apresentando diferença entre inicial e senil, juvenil e senil e madura e senil. Entre as faces foram observadas diferenças para a inicial, juvenil e madura. Assim como a fração areia fina, o silte é uma das frações mais suscetíveis à desagregação e ao transporte (Albuquerque et al., 2013).

Ao analisar os valores da D_s , foi possível observar maiores valores na face externa das voçorocas. Foi verificada diferença entre os estágios juvenil e senil e madura e senil na face interna. Também foi observada diferença entre as faces das voçorocas no estágio juvenil e madura. A estrutura do solo influencia na sua D_s , o que viabiliza a realização de predições dos possíveis impactos dos processos erosivos (Correa et al 2014). De maneira geral, valores mais elevados de D_s estão relacionados ao alto grau de compactação do solo. A compactação é diretamente proporcional a D_s , culminando em menor porosidade diminuindo o fluxo interno de água e favorecendo o escoamento superficial.

Como a área possui um longo histórico de uso e ocupação, com a cultura do café e pastagem, isso pode ter contribuído para aumento de D_s , que segundo Sousa et al. (2014), valores que são normalmente mais elevados em áreas manejadas possivelmente por haver compactação do solo (Pequeno et al., 2013). Em comparação com as demais, a voçoroca senil possui maiores dimensões e maior profundidade, o que influencia em valores D_s mais elevados em seu interior, já que, esse atributo tende a aumentar em profundidade.

Para a D_p foi verificada diferença entre inicial e senil, juvenil e senil para face interna e entre as faces na senil. Os autores ao Schjønning et al. (2017) ao realizarem a previsão da D_p do solo a partir de teores de matéria orgânica e argila, verificaram que quanto maior o teor matéria orgânica menor são os valores de D_p .

Os maiores valores do VTP foram quantificados na face interna das voçorocas. Deng et al. (2016) verificaram padrão similar ao estudarem o efeito do uso da terra nas propriedades físicas e químicas do solo e a erodibilidade em sedimentos de voçorocas no município de Anxi na China. Foram observadas diferenças na face interna entre as voçorocas inicial e senil, juvenil e senil, madura e senil. As faces diferiram na voçoroca classificada como senil, sendo observado maior valor na face interna. O escoamento de massa proveniente do processo erosivo culmina na desagregação do solo, alterando a distribuição da porosidade do solo, dando início a reestruturação na face interna da voçoroca em estágio senil, pois está se apresenta em regeneração natural espontânea.

Tabela 6. Médias dos atributos químicos do solo das voçorocas em estágio Inicial, Juvenil, Madura e Senil, na camada de 0-0,10 m nas face interna (I) e externa (E).

Estágio	pH		Ca ²⁺		Mg ²⁺	
	(cmol _c kg ⁻¹)					
	I	E	I	E	I	E
Inicial	5,01aA	4,98aA	0,99cA	0,97bB	1,15aA	1,18aA
Juvenil	4,94aA	4,76bA	1,16bA	1,12abA	1,11abA	1,16aA
Madura	4,89aA	4,84abA	1,21abA	0,96bA	0,97bcB	1,03aA
Senil	4,99aA	4,98aA	1,26aA	1,28aA	0,87cA	0,86bB
Estágio	Al ³⁺		H+Al		COT	
	(cmol _c kg ⁻¹)					
	I	E	I	E	I	E
Inicial	0,81aB	0,99bA	1,75bA	2,42abA	6,57bB	10,38aA
Juvenil	0,97aA	1,24aA	2,13abA	2,12aA	12,51aA	13,75aA
Madura	1,08aA	1,12abA	1,54bA	2,44bA	10,65abA	13,12aA
Senil	0,98aA	0,99bB	2,47aA	2,92aA	13,42aA	14,20aA
Estágio	Na ⁺		K ⁺		Valor S	
	(cmol _c kg ⁻¹)					
	I	E	I	E	I	E
Inicial	0,010aA	0,010aA	0,010aA	0,012aA	2,20aA	2,14abA
Juvenil	0,010aA	0,010aA	0,010abA	0,011aA	2,30aA	2,30aA
Madura	0,010aA	0,010aA	0,009bcA	0,008aB	2,20aA	2,17bA
Senil	0,010aA	0,010aA	0,008cB	0,007bA	2,18aA	2,16abA
Estágio	Valor T		Valor V			
	(cmol _c kg ⁻¹)		(%)			
	I	E	I	E		
Inicial	4,50abA	4,77bcA	56,00aA	45,00aA		
Juvenil	4,430abA	5,32aA	53,50abA	43,40aA		
Madura	4,34bA	4,47cA	61,63aA	45,70aA		
Senil	4,00aA	5,08abA	47,35bA	45,00aA		

Letras minúsculas iguais na coluna, para cada estágio evolutivo, e letras maiúsculas iguais na linha para cada face, não diferem pelo teste de Kruskal-Wallis a 5% de significância.

Os maiores valores de pH do solo foram verificados na face interna das voçorocas, sendo o mais elevado verificado na voçoroca em estágio inicial, apresentando diferença entre inicial e juvenil, juvenil e senil. Para os valores de Al³⁺ trocável, verificou-se o mesmo padrão observado para o pH entre os estágios, no entanto, com os menores valores na face interna. Esse padrão também foi observado entre as faces das voçorocas inicial e senil que também apresentaram diferença para esse atributo.

Os teores de COT acompanharam o padrão verificado para H+Al, maiores teores de COT no estágio senil e na face externa, o que pode estar associado adição de matéria orgânica por parte da vegetação nesse estágio evolutivo. Para esse atributo, verificou-se diferença entre os estágios inicial e juvenil, inicial e senil na face interna. Já para o H+Al entre os estágios inicial e senil, madura e senil na face interna, juvenil e madura, madura e senil na face externa.

Para o Ca²⁺, os maiores teores foram observados na voçoroca em estágio senil, mesmo padrão verificado para os teores de COT, o que pode estar associado à decomposição do material vegetal proveniente da vegetação presente na face dessa voçoroca. Os teores de Ca²⁺ diferiram entre os estágios inicial e senil, juvenil e senil na

face interna, inicial e senil, madura e senil na face externa. Entre as faces foi verificado diferença no estágio inicial.

Os maiores teores de Mg^{+2} e K^{+} foram observados na face externa das voçorocas, sendo o mais elevado verificado no estágio inicial. Quando se compara esse atributo no tocante ao estágio evolutivo das voçorocas, observa-se diferença entre inicial e madura, inicial e senil, juvenil e senil na face interna e entre inicial e senil, juvenil e senil e madura e senil na face externa. As faces diferiram entre os estágios madura e senil. O padrão observado pode estar relacionado à absorção desses nutrientes pelas plantas encontradas na face interna e nas bordas da voçoroca em estágio senil. Para os teores de Na^{+} não foram verificadas diferenças entre os estágios evolutivos e as faces.

Quanto ao valor S, menores valores foram observados no estágio senil, com os mais elevados na face interna. Apenas foi verificada diferença entre juvenil e madura na face externa, o que pode estar ocorrendo em função das perdas por lixiviação.

Os valores T e V (%) apresentaram diferença entre os estágios madura e senil na face interna. Para o valor T na face externa foram observadas diferenças entre os estágios inicial e juvenil, juvenil e madura, com o maior valor quantificado na face externa da voçoroca juvenil, padrão distinto do observado para o V (%), com maior valor na face externa da voçoroca no estágio madura. Esses resultados podem ser atribuídos ao processo de decomposição e mineralização que se desenvolvem em diferentes intensidades devido às características de cada estágio, a dinâmica da água, escoamento superficial e disponibilidade de matéria orgânica (Machado et al., 2010; Gomide et al., 2011).

Na Figura 26 é apresentada a análise dos componentes principais (ACP) e na Tabela 7 os valores das correlações entre os atributos químicos e físicos do solo e os eixos na camada de 0-0,10 m que apresentaram correlação significativa a 5% pelo teste de PEARSON. As variáveis do solo pH, Ca^{+2} , Al^{+3} , Na^{+} , valor S, argila total e argila natural a 0-0,10 m não apresentaram correlação significativa a 5% pelo teste de PEARSON.

Por meio da análise da ACP verificou-se, que por meio da relação entre os eixos 1 e 2 que houve separação para os atributos químicos e físicos do solo entre os estágios evolutivos e as faces interna e externa (II- face interna do estágio inicial, IE- face externa do estágio inicial, JI- face interna do estágio juvenil, JE- face externa do estágio inicial, MI- face interna do estágio madura, ME- face externa do estágio madura, SI- face interna do estágio senil, SE- face externa do estágio senil). A soma dos dois eixos pode explicar 84,78% da variabilidade dos dados observados, sendo que o eixo 1 explicou 55,24% e o eixo 2 29,54%.

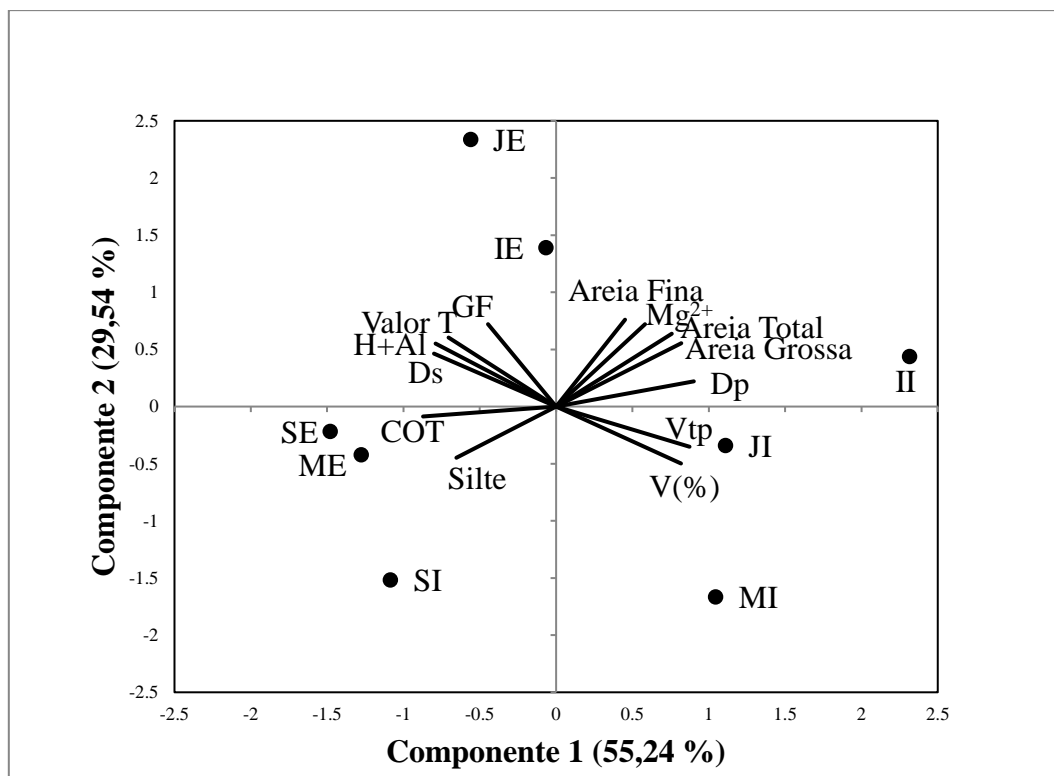


Figura 25. Análise dos componentes principais para as variáveis químicas e físicas do solo nos quatro estágios evolutivos e faces interna e externa das voçorocas na profundidade de 0-10 cm. II- face interna do estágio inicial, IE- face externa do estágio inicial, JI- face interna do estágio juvenil, JE- face externa do estágio inicial, MI- face interna do estágio madura, ME- face externa do estágio madura, SI- face interna do estágio senil, SE- face externa do estágio senil; Mg: Magnésio; H+Al: Hidrogênio +Alumínio; Valor T: Capacidade de troca catiônica; V (%): Saturação por bases; Densidade do solo; Dp: Densidade de partículas; VTP: Volume total de poros; COT: Carbono orgânico total.

Tabela 5. Valores das correlações entre os atributos químicos e físicos do solo e os eixos na camada de 0-0,10 m nos estágios analisados.

		Atributos Químicos				
Eixo		Mg ²⁺	H+Al	COT	Valor T	V %
1		0,58	-0,79	-0,87	-0,70	0,82
2		0,72	0,55	-0,09	0,60	-0,50
		Atributos Físicos				
Eixo		Areia Total	Areia Fina	Areia Grossa	GF	Silte
1		0,76	0,45	0,82	-0,44	-0,65
2		0,64	0,76	0,55	-0,72	-0,45
Eixo		Ds	Dp	VTP		
1		-0,80	0,90	0,87		
2		0,46	0,22	-0,35		

Para o estágio II, as variáveis areia grossa ($r= 0,82$), areia total ($r= 0,76$), Dp ($r=0,90$) estiveram mais associados, correlacionando-se positivamente com o eixo 1, e as variáveis Mg ($r= 0,72$) e areia fina ($r= 0,76$) correlacionadas positivamente com o eixo 2. Quanto ao JI e MI as variáveis mais associadas foram VTP ($r= 0,87$) e V% ($r= 0,82$)

apresentando correlação positiva. Para as variáveis mais associadas ao IE e JE tem-se o GF ($r=0,72$) correlacionando-se positivamente com o eixo 2 e o Ds ($r= 0,80$) com correlação positiva, H+Al ($r= -0,79$) e o valor T ($r=-0,70$) com correlação negativa com o eixo 1. Já para os estágios ME, SE e SI as variáveis mais associadas foram COT ($r= -0,87$) e silte ($r=-0,65$), apresentando correlação negativa com o eixo 1.

Ao analisar o eixo 1, foi possível verificar que apesar de haver separação entre os estágios, a face interna da voçoroca classificada como senil (SI), apresentou padrão de distribuição diferente dos demais. O interior das voçorocas trata-se de um ambiente modificado, no qual já ocorreu o processo erosivo de escorrimento de massa, e pode vir a apresentar alterações quando comparado a face externa.

Autores como Arthur et al. (2014) e Mantovanell et al. (2016) afirmam que pequenas variações nas formas do relevo influenciam na variabilidade dos atributos edáficos. O padrão observado para a SI pode estar associado ao processo de regeneração natural espontânea de gramíneas que está ocorrendo em seu interior, à única entre as avaliadas que se apresenta de tal modo. A regeneração tende a melhorar a qualidade do solo, alterando a fertilidade, aeração, agregação, infiltração de água e atividade biológica.

Os atributos químicos e físicos do solo na camada 0,10-0,20 m, das voçorocas em estágio inicial, juvenil, madura e senil, obtidos de amostras das suas faces internas e externas são apresentados na Tabela 8 e 9, respectivamente.

Quanto aos atributos químicos Al^{+3} , Na^{+} , K^{+} , argila natural, grau de floculação, areia total e areia fina não foram verificadas diferenças entre os estágios evolutivos ou entre as faces interna e externa das voçorocas. Os menores valores de pH foram observados na face externa, sendo verificada diferença entre os estágios inicial e juvenil, juvenil e senil e madura e senil. Para os teores de Ca^{+2} foram observadas diferenças entre os estágios inicial e juvenil, inicial e madura e inicial e senil. Entre as faces das voçorocas, foi verificada diferença na voçoroca madura, com o maior valor sendo observado na face interna da mesma. Quanto aos teores de Mg^{+2} , os maiores ocorreram na face externa. Quando comparados os estágios evolutivos, somente foram verificadas diferenças entre inicial e madura, inicial e /senil em ambas as faces, sendo os maiores teores de Mg^{+2} , observados na inicial.

Os maiores valores de H+Al e teores de COT foram quantificados na face externa, sendo verificada diferença entre os estágios juvenil e madura e madura e senil em ambas as faces, com os maiores valores associados às faces da senil. Maiores valores quantificados nessa face e no estágio e nesse estágio podem estar relacionados à presença de vegetação e ao processo de regeneração, assim como aporte de resíduos vegetais.

Os autores Gomide et al. (2011) verificaram padrão similar ao descrito anteriormente, pois ao estudarem o interior de voçorocas no município de Lavras-MG, observaram que houve diminuição do conteúdo de matéria orgânica, provocada pela remoção da vegetação, e conseqüentemente, diminuição da fertilidade.

Quanto ao valor S verificou-se diferença entre os estágios inicial e madura, juvenil e madura na face interna. Foram também observadas diferenças entre as faces da voçoroca madura, sendo o maior valor quantificado na face interna da senil. Para o valor T foram verificadas diferenças entre inicial e madura, juvenil e madura e madura e senil, com os maiores valores ocorrendo em ambas às faces da voçoroca senil. Quanto ao V (%), os maiores valores apresentaram o mesmo padrão ao observado para o valor T, diferindo entre juvenil e madura e madura e senil na face interna.

Tabela 6. Médias dos atributos químicos do solo das voçorocas em estágio Inicial, Juvenil, Madura e Senil, na camada de 0,10-0,20 m nas face interna (I) e externa (E).

Estágio	pH		Ca ²⁺		Mg ²⁺	
	(cmol _c kg ⁻¹)					
	I	E	I	E	I	E
Inicial	4,93aA	4,79abA	0,85bA	0,81abA	1,09aA	1,13aA
Juvenil	4,96aA	4,65cB	1,02aA	0,91abA	0,92abA	0,98abA
Madura	4,95aA	4,73bcB	1,08aA	0,76bB	0,84bA	0,84bA
Senil	4,92aA	4,85aA	1,05aA	0,96aA	0,93bA	0,95bA
Estágio	Al ³⁺		H+Al		COT	
	(cmol _c kg ⁻¹)					
	I	E	I	E	I	E
Inicial	0,96aA	1,35abA	1,99abA	2,64abA	5,94bB	8,54cA
Juvenil	0,98aA	1,46aA	2,16aA	3,02aA	14,81aA	11,97bcB
Madura	0,87aA	1,23abA	1,13bA	2,34bA	11,38abA	16,83abA
Senil	1,10aA	1,31aA	2,50aA	3,10aA	14,90aA	17,40aA
Estágio	Na ⁺		K ⁺		Valor S	
	(cmol _c kg ⁻¹)					
	I	E	I	E	I	E
Inicial	0,010aA	0,010aA	0,011aA	0,006aA	1,96aA	1,96aA
Juvenil	0,010aA	0,010aA	0,011aA	0,007aA	1,97aA	1,97aA
Madura	0,010aA	0,010aA	0,009aA	0,008aA	1,87aA	1,60bB
Senil	0,010aA	0,010aA	0,009aA	0,009aA	2,00aA	1,80abA
Estágio	Valor T		Valor V			
	(cmol _c kg ⁻¹)		(%)			
	I	E	I	E		
Inicial	3,95aA	4,40abA	40,00abA	43,20aA		
Juvenil	4,03aA	4,30aA	40,55bA	38,50abA		
Madura	2,99bA	3,95bA	37,06aA	40,94abA		
Senil	4,50aA	4,90aA	55,35bA	44,00aA		

Letras minúsculas iguais na coluna, para cada estágio evolutivo, e letras maiúsculas iguais na linha para cada face, não diferem pelo teste de Kruskal-Wallis a 5% de significância.

Tabela 7. Médias dos atributos físicos do solo das voçorocas em estágio Inicial, Juvenil, Madura e Senil, na camada de 0,10-0,20 m nas face interna (I) e externa (E).

Estágio	Argila Natural		Argila Total		Areia Total	
	(g kg ⁻¹)					
	I	E	I	E	I	E
Inicial	129,10aA	88,60aA	285,70abA	278,50bA	528,40aA	497,60aA
Juvenil	121,73aA	89,83aA	308,81abA	299,83bcA	497,80aA	500,60aA
Madura	104,31aA	112,63aA	233,40bA	297,90bA	453,70aA	445,00aA
Senil	100,60aA	101,94aA	355,31aA	348,80aA	432,50aA	493,40aA
Estágio	Areia Fina		Areia Grossa		Silte	
	(g kg ⁻¹)					
	I	E	I	E	I	E
Inicial	116,70aA	104,70aA	405,50aA	392,90abA	185,90bA	202,80aA
Juvenil	107,30aA	124,90aA	380,00abA	378,00aA	197,00bA	199,50aA
Madura	99,69aA	101,31aA	350,90abA	343,70bA	190,90bA	186,81aA
Senil	90,05aA	104,89aA	341,90bA	338,60abA	334,15aA	208,70aA
Estágio	Grau de Flocculação					
	(%)					
	I	E				
Inicial	55,44aA	67,49aA				
Juvenil	59,75aA	73,64aA				
Madura	68,57aA	68,52aA				
Senil	52,25aA	64,31aA				

Letras minúsculas iguais na coluna, para cada estágio evolutivo, e letras maiúsculas iguais na linha para cada face, não diferem pelo teste de Kruskal-Wallis a 5% de significância.

Quanto às frações granulométricas, para a argila total os maiores valores foram observados no estágio senil, sendo verificadas diferenças entre a face interna e entre as voçorocas madura e senil e na externa entre as voçorocas inicial e senil, juvenil e senil e madura e senil. Os maiores valores de areia grossa, ao contrário da argila natural foram quantificados na voçoroca inicial, o que pode ser decorrente da barreira física formada pelas raízes impedindo o carreamento da fração argila. A fração areia grossa por ser mais difícil de ser removida, devido ao seu tamanho, somente é transportada posteriormente com o desenvolvimento do processo. Para esse atributo foram verificadas diferenças entre os estágios inicial e senil na face interna e juvenil e madura na face externa. Para a fração silte só foram observadas diferenças entre a face interna entre as voçorocas inicial e senil, juvenil e senil e madura e senil.

As variáveis Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, COT, valor S, areia fina, areia grossa, argila total e argila natural a 0,10-0,20 m não mostraram correlação significativa a 5% pelo teste de PEARSON. A Figura 27 mostra a análise dos componentes principais (ACP) e na Tabela 10 os valores das correlações entre os atributos químicos e físicos do solo e os eixos na camada de 0,10-0,20 m, que possuem correlação significativa a 5% pelo teste de Pearson.

Foi verificado que os eixos 1 e 2 da ACP separaram atributos químicos e físicos do solo somente entre a face interna e externa dos respectivos estágios evolutivos. Somados os dois eixos explicam 83,04%, sendo que o eixo 1 explicou 60,81% e o eixo 2 22,23%. Para o estágio SE as variáveis mais associadas foram H+Al (r= 0,95), e valor T (r= 0,90), apresentando correlação positiva com o eixo 1. As variáveis mais associadas aos estágios IE, JE e ME foram Al⁺³ (r= 0,85) correlacionando positivamente com o eixo 1 e areia total (r= -0,58) negativamente com o eixo 2. Já para os estágios JI e MI a variável mais associada foi o V (%) (r= -0,93) apresentando correlação negativa com o eixo 1. Os

estágios II e SI apresentaram as variáveis pH ($r = -0,81$) e silte ($r = -0,96$) como mais associadas e correlação negativa com o eixo 1 e 2 respectivamente.

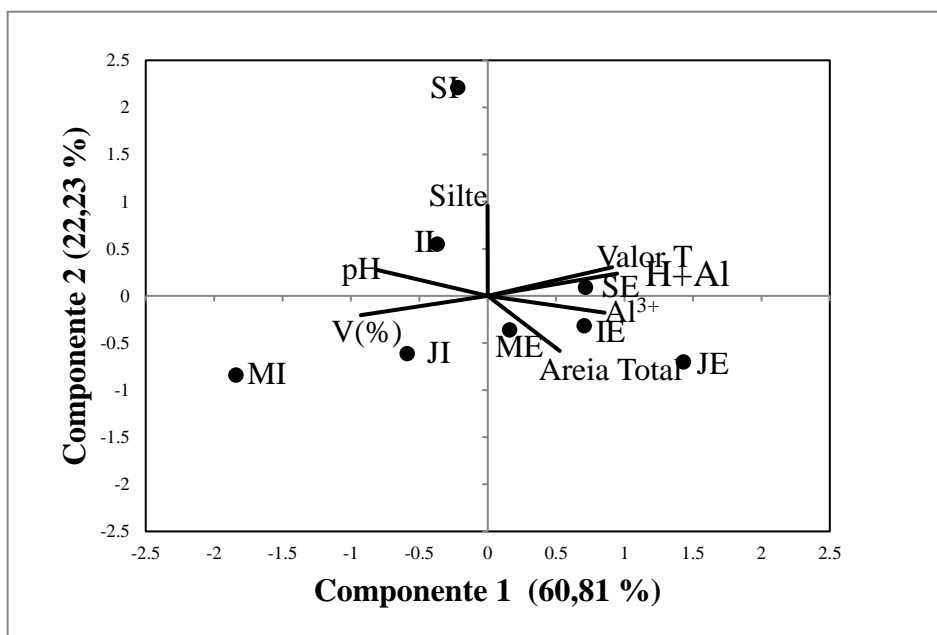


Figura 26. Análise dos componentes principais para as variáveis químicas e físicas do solo nos quatros estágios evolutivos e ambientes interno e externo das voçorocas na profundidade de 10-20 cm. II- face interna do estágio inicial, IE- face externa do estágio inicial, JI- face interna do estágio juvenil, JE- face externa do estágio inicial, MI- face interna do estágio madura, ME- face externa do estágio madura, SI- face interna do estágio senil, SE- face externa do estágio senil; pH: pH em água; Al: Alumínio; H+Al: Hidrogênio +Alumínio; Valor T: Capacidade de troca catiônica; V (%): Saturação por bases.

Tabela 8. Valores das correlações entre os atributos químicos e físicos do solo e os eixos na camada de 0,10-0,20 m nos estágios analisados.

Eixo	Atributos Químicos				
	pH	Al ³⁺	H+Al	Valor T	V %
1	-0,81	0,85	0,95	0,90	-0,93
2	0,27	-0,17	0,24	0,30	-0,20
Eixo	Atributos Físicos				
	Areia Total	Silte			
1	0,53	-0,002			
2	-0,58	0,96			

Mediante análise dos eixos 1 e 2, houve separação apenas entre a face interna das voçorocas dentro dos diferentes estágios evolutivos. De maneira geral a face externa das voçorocas, encontra-se mais estabilizada que a interna, visto que esta devido ao processo erosivo foi submetida a maiores alterações nos atributos químicos e físicos. Os autores Bastola et al. (2018) ao realizarem um estudo de caso avaliando o papel da vegetação na estabilização de processos erosivos por voçorocas em uma paisagem degradada no observatório experimental de zonas críticas de Calhoun, verificaram que ambientes com vegetação pré-estabelecida apresentavam maior estabilidade.

3.7. CONCLUSÕES

Os atributos químicos e físicos do solo ocorrem de forma diferenciada quando comparados os estágios evolutivos e as superfícies (face interna e externa), na camada de 0-0,10 m, e somente quanto as faces na camada de 0,10-0,20 m.

O estágio classificado como senil apresenta as melhores condições edáficas para a face interna, indicando estabilização do processo erosivo.

3.8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A. N. Simpósio de Ecologia Intertropical. Caderno de Ciências da Terra, São Paulo, n. 5, p. 1-5, 1970.

AB'SABER, A. N. Domínios morfoclimáticos e solos do Brasil. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F. & FONTES, M. P. F. Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e UFV, p.1-18, 1996.

AB'SABER, A. N.; TUNDISI, G. T.; FORNERIS, L.; MARINO, M. C.; ROCHA, O.; TUNDISI, T.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y; VUONO, Y. S.; WATANABE, S. Glossário de ecologia. Academia de Ciência do Estado de São Paulo. São Paulo, n.103, 352p., 1997.

ALBUQUERQUE, A. R. da C.; CHATEAUBRIAND, A. D.; PEREIRA, M. C. M.; ROCHA, J. C. F. da; NOGUEIRA, L. D.; CARTAXO, E. F. Análise das condições do risco erosivo no entorno do reservatório de Balbina-AM. In: XIII Safety. Health and Environment World Congress; July 2013; Porto, Portugal.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v.22, p.711-728, 2014.

ARTUR, A. G.; OLIVEIRA, D. P.; COSTA, M. C. G.; ROMERO, R. E.; SILVA, M. V. C.; FERREIRA, T. O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao micro relevo. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.; v. 18, p. 141-149, 2014.

AUMOND, J. J.; MAÇANEIRO, J. P. de. Abordagem sistêmica e aplicação de rugosidades para desencadear propriedades emergentes em restauração de solos degradados. Ciência Florestal, v. 24, p. 759-764, 2014.

AYER, J. E. B.; OLIVETTI, D.; MINCATO, R. L.; SILVA, M. L. N. Erosão hídrica em Latossolos Vermelhos distróficos. Pesqui. Agropecu. Trop, v. 45, p. 180-191, 2015.

BARROS, F. da C.; GAIA-GOMES, J. H.; PEREIRA, M. G. Avaliação da frequência de distribuição de voçorocas em pedoformas côncava e convexa na sub – bacia do ribeirão Cachimbal, Pinheiral (RJ). I Simpósio Argentina-Brasil-Cuba, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016.

BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 645-653, 2008.

BASTOLA, S.; DIALYNAS, Y. G.; BRAS, R. L.; NOTO, L. V. ISTANBULLUOGLU E. The role of vegetation on gully erosion stabilization at a severely degraded landscape: a case study from Calhoun experimental critical zone observatory. Geomorphology, v. 308, p. 25-39, 2018.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. N. Conservação do solo. São Paulo: Ícone, 355p., 1991.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. São Paulo: Ícone, 355p, 1999.

BORGES, T. K de S.; MONTENEGRO, A. A de A.; SANTOS, T. E; M dos; SILVA, D. D da; JUNIOR, V. de P. e S. Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (zea mays l.) em semiárido nordestino. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 38, n.6, p. 1862-1873, 2014.

BOGUNOVIC, I.; PEREIRA, P.; KISIC, I.; SAJKO, K.; SRAKA, M. Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia). Catena, v.160, p.376–384, 2018.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR; J.; FILHO, M. V. M.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. de.; BARBIERI, D. M. Variação espacial de perda de solo por erosão em diferentes superfícies geomórficas. Ciência Rural, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2485-2492, 2008.

CARVALHO, J. C. de; LIMA, M. C.; MORTARI, D. Considerações sobre prevenção e controle de voçorocas. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia- GO, 2001.

CARVALHO, R. B. Conservação do solo agrícola: Levantamento de dados e caracterização. Porto Alegre. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. 2008. 50p. Monografia.

CARVALHO JÚNIOR, W. de. Classificação supervisionada de pedopaisagens no domínio dos mares de morros utilizando redes neurais artificiais. Viçosa. UFV, MG. 2005. 160p. Tese de doutorado.

CASTRO, S. S. de.; XAVIER, L. de. S.; BARBALHO, M. G. da. S. Atlas geoambiental das nascentes dos rios Araguaia e Araguaína: condicionantes dos processos erosivos lineares. Goiânia: Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Goiás, 75 p., 2004.

CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, p.339-352, 2006.

CASTRO, M. A.; CUNHA, F. F.; LIMA, S. F.; PAIVA, V. B.; LEITE, D. A. P.; MAGALHÃES, F. F. Atributos físico-hídricos do solo ocupado com pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul-Mato Grossense. Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium, v.3, p.498-512, 2012.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, p. 743-753, 2003.

CONAMA. Resolução 006 de 4 de maio de 1994, Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama/legiano1.cfm>>. Acesso em: 15 de julho de 2018.

CORREA, E. A.; MORAES, I. C.; GUEDES JUNIOR, E.; COUTO JUNIOR, A.; PINTO, S. A. F. P. Resistência à penetração e densidade do solo como indicadores na análise da susceptibilidade a erosão hídrica dos solos. *Revista Geonorte*, v.10, p.141-146, 2014.

COMITÊ DE INTEGRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL -CEIVAP. Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos. In: Plano da bacia do Rio Paraíba do Sul. Fundação Coppetec. UFRJ. Agência Nacional das Águas (ANA). 2002. 1200p. v.1-8. <<http://www.ceivap.org.br/planobacia.htm>> Acesso em 15 de agosto de 2018.

CONCIANI, W. Processos erosivos: conceitos e ações de controle. Cuiabá: CEFET - MT, 148p., 2008.

COUTINHO, F. S. Atributos edáficos e qualidade do solo em áreas de agricultura, pastagem e fragmentos florestais na região do médio vale do Paraíba do Sul, Rio de Janeiro. Seropédica. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2012. 60p. Dissertação de Mestrado.

COUTINHO, F. S.; PEREIRA, M. G.; TOSTES, J. de O.; FRANCELINO, M. R.; GAIA-GOMES, J. H. Application of Georadar in Areas with Different Vegetation Cover. *Floresta e Ambiente*, v.24: p.1-8, 2017.

COSTA, E. M. Mapeamento digital de solos por regressão logística múltipla em ambiente de Mar de Morros em Pinheiral – RJ. Seropédica. Universidade federal Rural do Rio de Janeiro. 2015. 135p. Dissertação de Mestrado.

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Estudo de águas subterrâneas da região administrativa 3 (São José dos Campos e Faixa Litorânea), SP. São Paulo: 1977. 175 p.

DEAN, W. A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira. São Paulo: Cia. das Letras, 1997. 484p.

DIAS, J. E. Análise ambiental por geoprocessamento do município de Volta Redonda, Seropédica. Universidade federal rural do Rio de Janeiro. 1999. 180p. Dissertação de Mestrado.

DINIZ, A. R. Dinâmica de fragmentos florestais da Mata Atlântica na Região do Médio Vale Paraíba do Sul – Rio de Janeiro. Seropédica. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2011. 77p. Dissertação de Mestrado.

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. de F.; MARIA, I. C. de. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. *Bragantia*, v.74: 224-233, 2015.

DENG, Y.; XIA, D.; CAI, C.; DING, S. Effects of land uses on soil physic-chemical properties and erodibility in collapsing-gully alluvial fan of Anxi County, China. *Journal Integr. Agric.* v.15, p. 1863-1873, 2016.

DEVIDE, A. C. P.; CASTRO, C. M. de; RIBEIRO, R. de L. D.; ABBOUD, A. C. de S.; PEREIRA, M. G.; RUMJANEK, N. G. História Ambiental do Vale do Paraíba Paulista, Brasil. *Revista Biociências*, v. 20, n. 1, p. 12-29, 2014.

DOBEK, K.; DEMCZUK, P.; RODZIK, J.; HOLUB, B. Types of gullies and conditions of their development in silvicultural loess catchment (Szczecbrzeszyn Roztocze region, SE Poland). *Landform Analysis* v.17, p.39–42, 2011.

DUMMER, J. Análise dos Condicionantes do Meio e dos Usos Agrícolas na Ocorrência de Erosão Linear no Município de Chувиска, RS. Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014. 2014. 90p. Dissertação de Mestrado.

DURÃES, M. F. & MELLO, C. R de. Distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 4, p. 677-685, 2016.

DRUMMOND, J.A. Devastação e preservação ambiental no Rio de Janeiro. Niterói: EDUFF, 1997. 180 p.

ELLISON, W. D. Soil erosion studies. *Agronomy Engineering*, Washington, v.28, 1947.

EPÓSITO, C. C.; BUENO, G. T.; LOBO, C. F. F.; SOUSA, J. B. de. Estrutura de rochas metassedimentares e vulnerabilidade aos movimentos de massa – bacia do córrego do cercadinho, Belo Horizonte-MG. *Revista de Geografia, Recife, UFPE – DCG/NAPA*, v. especial VIII SINAGEO, n. 3, 2010.

ENDRES, P. F.; PISSARRA, T. C. T.; BORGES, M. J.; POLITANO, W. Quantificação das classes de erosão por tipo de uso do solo no município de Franca, SP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, v. 26, n.1, p. 200-207, 2006.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. ESRI. ARC/INFO. Command references. New York. 1994. 281p.

FAUSTINO, J. Planificación y gestión de manejo de cuencas. Turrialba: CATIE, 90p., 1996.

FERNANDEZ, P.; DELGADO, E.; LOPEZ-ALONSO, M.; POYATOS, J. M. GIS environmental information analysis of the Darro River basin as the key for the management and hydrological forest restoration. *Science of the Total Environment*, v.613, p.1154–1164, 2018.

FERREIRA, E. de M.; ANDRAUS, M. de P.; CARDOSO, A. A.; COSTA, L. F. dos S.; LÔBO, L. M.; LEANDRO, W. M. Recuperação de áreas degradadas, adubação verde e qualidade da água. *REMOA*; v. 15, p. 228-246, 2016.

FLAUZINO, B. K. Degradação do solo pela erosão hídrica e capacidade de uso em sub-bacia hidrográfica piloto no sul de Minas Gerais. Minas Gerais. Universidade Federal de Itajubá. 2012. 91p. Dissertação de Mestrado.

FRANCO, M. do R. da S. Formação de ravinas: significância para a perda de solo por erosão hídrica. Dissertação de Mestrado. Instituto politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária. 2012. 138f. Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ. 2015. 75p. Dissertação de Mestrado.

FU, P.; RICH, P. M. The solar analyst 1.0 manual. Helios Environmental Modeling Institute (HEMI), Estados Unidos da América, 2000.

FLAUZINO, B. K. Degradação do solo pela erosão hídrica e capacidade de uso em sub-bacia hidrográfica piloto no sul de Minas Gerais. Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2012. 91p. Dissertação de Mestrado.

GAIA-GOMES, J. H. Caracterização Morfométrica da Sub-Bacia de Ribeirão do Cachimbal, RJ e Atributos Edáficos Condicionantes no Processo Erosivo em Pedofomas Côncava e Convexa. Seropédica. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2017. 109p. Dissertação de Mestrado.

GALETI, P. A. Conservação do solo-reflorestamento- clima. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 286p.

GESTIN: Sistema de Gestão integrada da Bacia do Paraíba do Sul: Serviço de Informações da Bacia do Paraíba do Sul. Disponível em: <http://pbs.ana.gov.br>. Acessado em: 15/07/2018.

GOLOSOV, V.; COLLINS, A. L.; TANG, O.; ZHANG, X.; ZHOU, P.; HE, X.; WEN, A. Sediment transfer at different spatial and temporal scales in the Sichuan Hilly Basin, China: Synthesizing data from multiple approaches and preliminary interpretation in the context of climatic and anthropogenic drivers. *Science of the Total Environment*, v.598, p.319–329, 2018.

GOMIDE, P. H. O.; SILVA, M. L. N.; SOARES, C. R. F. S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras - MG. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v. 35, p. 567-577, 2011.

GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

GUERRA, A. J. T. Experimentos e monitoramento em erosão dos solos. *São Paulo Revista do Departamento de Geografia da USP*, v. 16, p. 32-37, 2005

GUERRA, A. J. T.; GONÇALVES, L. F. H.; LOPES, P. B. M. Evolução histórico-geográfica da ocupação desordenada e movimentos de massa no município de Petrópolis, nas últimas décadas. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, São Paulo, v. 8, p.35-43, 2007.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; MARIA, I. C. de; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J. C. A erosão e seu impacto. p.47-60. In: Manzatto, C. V.; FREITAS

JÚNIOR, E.; PERES, J. R. R. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 174p., 2002.

HUDSON, N. Soil conservation. Ithaca: Cornell University Press, 1971. 320p.
INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual técnico da vegetação brasileira. IBGE, Rio de Janeiro, 1992, 92 p.

INFANTI JUNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de dinâmica superficial. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. Geologia de engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 131-152, 1998.

LAURANCE, W. F.; SAYER, J.; CASSMAN, K. G. Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. Trends Ecol. Evol., v. 29, p. 107-116, 2014.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. São Paulo: Oficina de Textos, 2002, 178 p.

LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S. de; SILVA, S. de A. Distribuição espacial da matéria orgânica, grau de floculação e argila dispersa em água em área de vegetação natural em regeneração e pastagem. Rev. Árvore, v. 37, p. 539-546, 2013.

LIMA, S. S.; SILVA, R. M.; SCORIZA, R.; PONTES, R. M.; PEREIRA, M. G. Macrofauna edáfica em topossequência com ocorrência de ninhos epígeos de térmitas em ambiente de “Mar de Morros” Pinheiral – RJ. III Simpósio de Pesquisa em Mata Atlântica, 2014.

LEPSCH, I. F. 19 lições de pedologia. São Paulo: Oficina de Textos. 2011, 456p.

MACHADO, R. E. Simulação de escoamento e produção de sedimento em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002. 152p. Tese de Doutorado.

MACHADO, R. L. Perda de Solo e Nutrientes em Voçorocas com Diferentes Níveis de Controle e Recuperação no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. Seropédica. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007. 87p. Dissertação de Mestrado.

MACHADO, R. L.; RESENDE, A. S. de; CAMPELLO, E. F. C.; OLIVEIRA, J. Á., FRANCO, A. A. Soil and nutrient losses in erosion gullies at different degrees of restoration. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p.945-954, 2010.

MAGALHÃES, R. A. Erosão: Definições, Tipos e Formas de Controle. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia, 2001.

MARIOTI, J.; BERTOL, I.; RAMOS, J. C.; WERNER, R. de S.; PADILHA, J.; BANDEIRA, D. H. Erosão hídrica em semeadura direta de milho e soja nas direções da pendente e em contorno ao declive, comparada ao solo sem cultivo e descoberto. Rev. Bras. Cienc. Solo, v. 37, p. 1361-1371, 2013.

MARQUES, R.; SOUZA, R.; BATALHA, C. Fatores controladores da formação de voçorocas na microbacia hidrográfica Zé Açú, Parintins-AM. Revista Geonorte, Amazonas, v.10, p.380-385, 2016.

MARQUES, O.; TIENNE, L.; CORTINES, E.; VALCARCEL, R. Atributos ambientais definidores de presença de fragmentos florestais de Mata Atlântica em microbacias instáveis. EDUR. Revista Universidade Rural Série Ciências da Vida. Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, p.145-150, 2005.

MARTINS FILHO, M.V.; LICCIOTI, T.T.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SANCHEZ, R.B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 29, p.8-18, 2009.

MARTINKOSKI, L.; VOGEL, G. F.; JADOSKI, S. O.; WATZLAWICK, L. F. Qualidade física do solo sob manejo silvipastoril e Floresta Secundária. Revista Floresta e Ambiente v.24, p.1-9, 2017.

MEDEIROS, A. dos S. Influência da pedofoma sobre a composição Florística e a Estrutura da Floresta Estacional Fluminense, Pinheiral, RJ. Seropédica. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2015. 177p. Dissertação de Mestrado.

MENEZES, C. E. G. Diagnóstico de degradação do solo em função da topografia e cobertura vegetal no município de Pinheiral-RJ. Seropédica. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 1999. 186p. Dissertação de Mestrado.

MENEZES, C. E. G. Integridade de paisagem, manejo e atributos do solo no Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral-RJ. Seropédica. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2008. 172p. Tese de Doutorado.

MENEZES, C. E. G.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; BATISTA, I.; RODRIGUES, K. de M.; COUTO, W. H.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, I. P. de. Macrofauna edáfica em estádios sucessionais de Floresta Estacional Semidecidual e pastagem mista em Pinheiral (RJ). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, p. 1647-1656, 2009.

MENEZES, C. E. G.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; ANJOS, L. H. C. dos; PAULA, R. R.; SOUZA, M. E. de. Litter contribution and decomposition and root biomass production in forests at different sucessional stages in Pinheiral, RJ. Ciência Florestal, v. 20, p. 439-452, 2010.

MENEZES, J. P. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. de S.; BELLO, I. P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. Rev. Eng. Sanit. Ambiental, v. 21, p. 519-534, 2016.

MENDONÇA, P. G. Simulação espacial da perda de solo e nutrientes por erosão em um Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. São Paulo. Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal. 2013. 110p. Tese de Doutorado.

MIQUELONI, D. P.; BUENO, C. R. P.; FERRAUDO, A. S. Análise espacial dos fatores da equação universal de perda de solo em área de nascentes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.47, n.9, p.1358-1367, 2012.

MORGAN, R. P. C. *Soil erosion and conservation*. Inglaterra: Longman Group. 1986.
MHAZO, N.; CHIVENGE, P.; CHAPLOT, V. Tillage impact on soil by water: discrepancies due to climate and soil characteristics. *Agri. Ecosyst. Environ*, v. 230, p. 231-241, 2016.

NETO, C. A. da S. Evaluation of vulnerability to loss of soil in watershed of Salobra river, MS, based on the forms of terrain. *Revista Geografia*, v. 22, n. 1.p.05-25, 2013.

OLIVEIRA, J. A. Caracterização física da Bacia do Ribeirão Cachimbal-Pinheiral (RJ) e de suas principais paisagens degradadas. Seropédica. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 1998. 142p. Dissertação de Mestrado.

OLIVEIRA, B. E. N. de. Mapeamento, identificação e análise dos fatores relacionados aos processos erosivos no Distrito Federal – ênfase nas voçorocas. Distrito Federal. Universidade Federal de Brasília. 2011. Dissertação de Mestrado.

OLIVEIRA, A. H.; Silva, M. A. da; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; LIMA, G. C.; PEREIRA, P. H. Caracterização ambiental e predição dos teores de matéria orgânica do solo na sub-bacia do Salto, Extrema, MG. *Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, p. 143-154, 2012.

OUYANG, W.; WU, Y.; HAO, Z.; ZHANG, Q.; BU, Q.; GAO, Y. Combined impacts of land use and soil property changes on soil erosion in a mollisol area under long-term agricultural development. *Science of the Total Environment*, p. 798–809, 2018.

PARRAS-ALCANTARA, L.; LOZANO-GARCÍA, B.; BREVIK, E. C.; CERDA, A. Soil organic carbon stocks assessment in Mediterranean natural areas: A comparison of entire soil profiles and soil control sections. *Journal of Environmental Management*, v. 155, p. 219-228, 2015.

PEQUENO, P. L. L. *Noções básicas de uso e manejo do solo*. Porto Velho: Eudfro; 2013.

PEREIRA, M. J. F. da C. História Ambiental do Café no Rio de Janeiro-Século XIX a transformação do capital natural e uma análise de desenvolvimento sustentável. In: *Simpósio de história: guerra e paz*. Londrina. Anais: ANPUH/UDEL. 23p., 2005.

PEÑUELA, A.; JAVAUX, M.; BIELDERS, C. L. How do slope and surface roughness affect plot-scale overland flow connectivity? *Journal Hydrology*, v.528, p.192–205, 2015.

PINHEIRO, H. S. K. Mapeamento digital de solos por redes neurais artificiais da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu, RJ. Seropédica. Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 138p. 2012. Dissertação de Mestrado.

PINHEIRO, D. T. C.; COSTA, C. C. da; MOTTA, L. L.; GODINHO, F. C.; SILVA, J. V. da. Monitoramento da fertilidade do solo submetido à erosão hídrica em área cultivada com *Eucalyptus* sp. *Revista Agrogeoambiental*, v. 2, p. 57-65, 2010.

PISSARRA, T. C.; GALBIATTI, J. A.; BORGES, M. J.; ROSALEN, D.; IHA, D. Avaliação por fotointerpretação do uso/ocupação do solo e erosão acelerada em microbacias hidrográficas utilizando sistemas de informação geográfica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia. Anais: INPE. p.12, 2005.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. Escoamento superficial. Viçosa: UFV, 2004. 87p.

PRUSKI, F. F. Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: UFV, 2006, 240 p.

PRUSKI, F. F. Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: Editora UFV, ed. 2, 2009, 279p.

QUEIROZ, F. L. L. Aspectos da Dinâmica hidrossedimentológica e do uso e ocupação do solo na bacia do córrego Arapu. Mato Grosso do Sul: UFMS, 2011. 125p. Dissertação de Mestrado.

RANZINI, M.; RIGHETTO, A. M.; MORAES, GUANDIQUE, M. E. G.; MORAIS, J. M.; ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. de. Modelagem hidrológica de uma Bacia Hidrográfica na Serra do Mar, SP. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 9, n.4, p. 33-44, 2004.

RICH, P. M.; DUBAYAH, R.; HETRICK, W. A.; SAVING, S. C. Using Viewshed models to calculate intercepted solar radiation: applications in ecology. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers*, Virginia, p. 524-529, 1994.

RUBIRA, F. G.; MELO, G. do V. de; OLIVEIRA, F. K. S. de. Proposta de padronização dos conceitos de erosão em ambientes úmidos de encosta. *Revista de Geografia*, Recife, v. 33, n. 1, p.169-193, 2016.

SALOMÃO, F. X. de. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. *Erosão e conservação dos solos-conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, cap. 7, p.229-267, 1999.

SANCHEZ, R. B.; JÚNIOR, M. J.; SOUZA, Z. M. de; PEREIRA, G. T.; FILHO, M. V. M. Variabilidade Espacial de Atributos do Solo e de Fatores de Erosão em Diferentes Pedoformas. *Revista Bragantia*, v. 68, n.4, p.1095-1103, 2009.

SANTOS, A. C.; SALCEDO, I. H.; CANDEIAS, A. L. B. Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia de Vaca Brava (PB). *Revista Brasileira de Cartografia*, Pernambuco, v. 54, p. 86-94, 2002.

SANTOS, A. do C. Pedogênese e alterações geoquímicas em topolitossequências na Bacia do Ribeirão do Cachimbal na Região do Médio Vale do Paraíba, RJ. Seropédica.

Instituto de Agronomia, Departamento de Solos. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009. 241p. Tese de Doutorado.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.2, p.115–123, 2010.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.

SANTOS, G. L. Efeito da Pedoforma no Processo de Sucessão Secundária em Fragmentos Florestais na Região do Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral, RJ. Seropédica. Instituto de Floresta, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2014. 130p. Dissertação de Mestrado.

SANTOS, G. L. dos; PEREIRA, M. G.; LIMA, S. S. de; CEDDIA, M. B.; MENDONÇA, V. M. M.; DELGADO, R. C. Landform curvature and its effect on the spatial variability of soil attributes, Pinheiral-RJ/BR. *Cerne*, v. 22, p. 431-438, 2016.

SANTOS, J. C. N. dos; ANDRADE, E. M. de; MEDEIRO, P. H. A.; GUERREIRO, M. J. S.; PALÁCIO, H. Á. de Q. Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. *Revista ciência agronômica*, v.48, p. 251-260, 2017.

SANTOS, G. L. dos; PEREIRA, M. G.; DELGADO, R. C.; MORAES, L. F. D. de. Padrões da regeneração natural na região de Mar de Morros, Pinheiral-RJ. *Revista Floresta e Ambiente*, v.24, p.1-11, 2017.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; FILHO, M. N. M. B. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande-PB. *Rev. Eng. Sanit. Ambiental*, v. 22, p. 943-952, 2017.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, C. J.; FERREIRA, M. M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, Sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, p. 1811-1820, 2014.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P. B. de. *Hidrossedimentologia em bacias hidrográficas*. 2. ed. São Carlos: RIMA, 2007, 158p.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. São Paulo: EDUSP, 2001. P. 35-51.

SILVEIRA, C. T da; FIORI, A. P.; FERREIRA, A. M.; GÓIS, J. R. de; MIO, G. de; SILVEIRA, R. M. P; MASSULINI, N. E. B.; LEONARDI, T. M. H. Emprego de atributos topográficos no mapeamento da susceptibilidade a processos geoambientais na Bacia do rio Jacareí, Paraná. *Revista Sociedade & Natureza, Uberlândia*, v. 25, n. 3, p.623-639, 2013.

- SIRTOLI, A. E.; SILVEIRA, C. T. da; MANTOVANI, L. E.; SIRTOLI, A. R. dos A.; OKA-FIORI, C. Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. *Scientia Agrária*, Curitiba, v. 9, n. 3, p.317-329, 2008.
- SOUSA, E. L. do; ANDRIOLI, I.; ALMEIDA, R. G.; MACEDO, M. C. M.; LAL, R. Physical quality of an Oxisol under an integrated crop-livestock-forest system in the Brazilian Cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v. 38, p. 608-618, 2014.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR, A. A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p. 427-436, 2000.
- SCHIMIDT, J.; EVANS, I. S.; BRINKMANN, J. Comparison of polynomial models for land surface curvature calculation. *International Journal of Geographical Information Science*, Estados Unidos, v.17, n. 8, p. 797-814, 2003.
- SCHJONNING, P.; MCBRIDE, R. A.; KELLER, T.; OBOUR, P. B. Predicting soil particle density from clay and soil organic matter contents. *Geoderma*, v. 296, p. 83-87, 2017.
- STRECK, E.V.; COGO, N. P. Reconsolidation of the soil surface after tillage discontinuity, with and without cultivation, related to erosion and its prediction with RUSLE. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.141-152, 2003.
- TAVARES, A. S.; JÚNIOR, H. M.; SPALEVIC, V.; MINCATO, R. L. Models of water erosion and soil loss tolerance in dystrophic oxisols in southern Minas Gerais. *Revista do Departamento de Geografia*, v.12, p.268-277, 2017.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de Métodos de Análise de Solo. 3. ed. rev. e ampl. Embrapa, 2017. 573 p.
- TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. *Revista Uniara*, n.20, p. 137-156, 2007.
- TOLEDO, L. DE O.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, C. E. G. Produção de Serrapilheira e transferência de nutrientes em florestas secundárias localizadas na Região de Pinheiral-RJ. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 9-16, 2002.
- VIANELLO, R. L.; ALVES A. R. *Metereologia básica e aplicações* 2a Ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. 460 p.
- VIEIRA, A. F. G. *Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais*. Santa Catarina: UFSC, 2008. 310p. Tese de Doutorado.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.19, p.1467-1476, 1988.

ZHANG, X.; HU, M.; GUO, X.; YANG, H.; ZHANG Z.; ZHANG, K. Effects of topographic factors on runoff and soil loss in Southwest China. *Catena*, v.160, p.394–402, 2018.

ZUQUETTE, L. V.; CARVALHO, J. A. R.; YAMANOUTH, G. R. D. B. Feições erosivas na bacia do córrego do Espriado, São Pedro, seus tipos e evolução entre 1972 - 2002. *Revista Brasileira de Geociências*, Curitiba, v. 37, p. 414-425, 2007.

CAPÍTULO III

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS A ANÁLISE QUANTITATIVA DE REMOÇÃO DE MASSA DE SOLO E DE NUTRIENTES EDÁFICOS EM VOÇOROCAS NA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO CACHIMBAL, PINHEIRAL – RJ

4.1. RESUMO

Dentre os inúmeros problemas ambientais, a erosão atua como agente intensificador na perda de solo, culminando na remoção de nutrientes. Desse modo, o objetivo deste estudo foi quantificar a perda de massa de solo e nutrientes e o aumento do volume em voçorocas com diferentes estágios evolutivos, considerando a variação sazonal e escala temporal. Para o estudo foi selecionada uma área no município de Pinheiral, RJ, com voçorocas com diferentes estágios de formação, a saber: inicial, juvenil, madura e senil. Foram realizados dois voos utilizando o drone modelo DJI Phantom 4 para avaliação da área de cada voçoroca nos anos de 2017 e 2020. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas na face interna de cada voçoroca, na camada de 0-0,10 m, nos meses de maio e novembro de 2017, correspondendo a estação seca e chuvosa. Foram realizadas análises para avaliação da fertilidade, carbono orgânico total (COT) e densidade do solo (Ds). De posse dos dados foram calculadas as quantidades de massa de solo e de nutrientes removidos. Verificou-se que os maiores valores de área e volume das voçorocas, Ds, massa de solo removida e nutrientes foram quantificados na voçoroca em estágio senil, e os menores na inicial em ambos os anos. A quantidade de massa de solo removida aumenta em escala temporal em função do estágio evolutivo até o momento em que há a presença de espécies arbóreas. Na voçoroca em estágio senil, no ano de 2020, foram verificados os maiores valores de área, volume, Ds, sendo o maior valor de massa de solo removida verificado em 2017.

Palavras-chave: Erosão. Geotecnologias. VANT.

4.2. ABSTRACT

Among the numerous environmental problems, erosion acts as an intensifying agent in soil loss, culminating in the removal of nutrients. Thus, the objective of this study was to quantify the loss of soil mass and nutrients and the increase in volume in gullies with different evolutionary stages, considering the seasonal variation and time scale. For the study, an area was selected in the municipality of Pinheiral, RJ, with gullies with different stages of formation, namely: initial, juvenile, mature and senile. Two flights were performed using the drone model DJI Phantom 4 to assess the area of each gullet in the years 2017 and 2020. Deformed and unformed samples were collected on the inner face of each gullet, in the 0-0.10 m layer, in the months may and November 2017, corresponding to the dry and rainy season. Analyzes were carried out to assess fertility, total organic carbon (TOC) and soil density (Ds). With the data in hand, the amounts of soil mass and nutrients removed were calculated. It was found that the highest values of area and volume of gullies, Ds, soil mass removed and nutrients were quantified in the gullet in senile stage, and the lowest in the initial in both years. The amount of soil mass removed increases in time depending on the evolutionary stage until the moment when there is presence of tree species. In the senile stage gullet, in 2020, the highest values of area, volume, Ds were verified, with the highest value of soil mass removed verified in 2017

Keywords: Erosion. Geotechnologies. VANT.

4.3. INTRODUÇÃO

A degradação do solo é um dos maiores problemas ambientais, que vem ocorrendo em escala global, e tem sido intensificado pelos processos erosivos (Oliveira et al., 2018). A sua ocorrência está relacionada com fatores naturais, como relevo, vertente de exposição, superfície de curvatura, área de incidência solar, vegetação e precipitação pluviométrica, e também segundo Gaia-Gomes et al. (2020) e Santos et al. (2016) tais processos estão também associados ao histórico de uso e ocupação e a ação antrópica. As voçorocas são definidas como processos erosivos em estágio avançado que se apresentam em formas e estágios evolutivos distintos (Dobek et al., 2011; Cherobin, 2012), podendo culminar na impermeabilização do solo, aumentando o escoamento superficial e, conseqüentemente, o escorrimento de massa, aumentando a fragilidade do ambiente (Santos et al., 2017), e também promovendo o assoreamento dos rios.

O município de Pinheiral-RJ se destaca como um dos que apresenta maior ocorrência de voçorocas no estado do Rio de Janeiro. Ele possui toda sua extensão territorial compreendida pela Bacia do Rio Paraíba do Sul, e grande parte pela sub-bacia do Ribeirão Cachimbal, região conhecida como “Mar de Morros”, por apresentar relevo com variações de amplitude altimétrica e declividades. Essas características associadas ao histórico de uso e ocupação desenvolvido no passado, com destaque para o cultivo de café e criação extensiva de gado, e as precipitações pluviométricas distribuídas ao longo do ano, podem contribuir para a ocorrência de processos erosivos em estágio avançado.

No entanto, o uso de geotecnologias para avaliação dos processos erosivos pode contribuir para a melhoria das informações para programas de recuperação de áreas degradadas, com agilidade e elevado grau de acurácia (Aimon et al., 2018; Souza et al., 2017). Ao utilizarem imagens aéreas em datas distintas e obtidas por drone, Garritano et al. (2018), verificaram que é possível avaliar a intensidade e a forma que o processo erosivo evolui ao longo dos anos com agilidade e praticidade, o que pode, dessa forma, contribuir para os estudos de impactos ambientais e de susceptibilidade a erosão.

Portanto, este estudo teve como hipótese de que a perda de massa e nutrientes do solo de acordo com os estágios evolutivos e a superfície (interna) da voçoroca ao longo do tempo. Assim, o presente estudo objetivou classificar e avaliar as voçorocas com base em sua morfologia, estágio evolutivo e nos atributos físico-químicos do solo em suas superfícies internas nos meses de maio e novembro no ano de 2017 e em fevereiro de 2020, com utilização de drone.

4.4. REVISÃO DE LITERATURA

A ocorrência de processo erosivos como agente natural, ocorre lentamente promovendo modificações nas paisagens (Silva et al., 2007). No entanto, o uso de ferramentas para a obtenção de dados que subsidiem a realização de análises geoambientais, são importantes para a obtenção de informações relevantes a condições do relevo, perda de solo, vegetação, incidência solar, entre outras (Batistella et al., 2011; Ramos et al., 2018).

A utilização das denominadas geotecnologias, a saber: Drone, Georadar, Laser Scanner, e imagens de satélite tem proporcionado grandes avanços na obtenção de dados no tocante a indicadores de qualidade ambiental. Coutinho et al. (2017) ao aplicar o georadar em áreas com diferentes vegetações verificou que a partir do uso do equipamento foi possível identificar mudanças das propriedades edáficas em diferentes níveis de profundidade e distintas áreas florestais e agrícolas.

Ao realizar o levantamento de dados em voçorocas com o uso do laser scanner nos municípios de Pinheiral e Vassouras, Ramos (2010) constatou que os resultados obtidos com a varredura do Laser Scanner permitiram gerar modelos digitais de elevação das voçorocas com grande precisão, o que associado com a rapidez do trabalho de levantamento no campo, configura-se numa ferramenta potencial para o estudo e monitoramento de processos erosivos.

Araújo et al. (2018), ao realizar a identificação e avaliação de processos erosivos através de imagens LANDSAT 5,8 e Drone, em uma área localizada no extremo sudoeste do estado de Tocantins, verificou-se que as imagens obtidas através do uso do drone apresentaram melhor resolução espacial.

4.5. MATERIAL E MÉTODOS

4.5.1. Localização da área de estudo

Apresentado no tópico 2.5.1 do Capítulo 1.

4.5.2. Caracterização do meio físico

Apresentado no tópico 2.5.2. do Capítulo 1. Foi realizado também o levantamento da série histórica pluviométrica, considerando a média mensal nos últimos 30 anos, como pode ser observado na Figura 27.

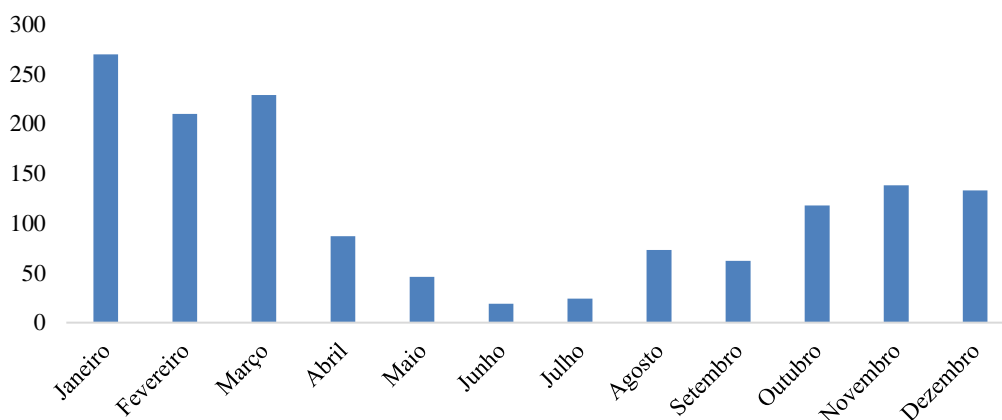


Figura 27. Distribuição da chuva (precipitação anual) nos últimos 30 anos. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2021). <https://www.climatempo.com.br/climatologia/3251/pinheiral-rj>.

4.5.3. Mapeamento e Classificação qualitativa das voçorocas

Apresentado no tópico 2.5.3. do Capítulo 1

4.5.4. Classificação morfológica das voçorocas

Apresentado no tópico 2.5.4. do Capítulo 1.

4.5.5. Coletas das amostras de solo

As amostras de solo foram coletadas no ano de 2017, mais precisamente nos meses de maio e novembro, estação seca e chuvosa, respectivamente. Amostras deformadas e não deformadas foram coletadas na camada de 0-0,10 m para avaliar os atributos químicos e físicos na face interna da voçoroca. Foram coletadas 10 amostras deformadas e 10 não deformadas, na voçoroca classificada como inicial; 12 amostras deformadas e 12 não deformadas na juvenil; 16 amostras deformadas e 16 não deformadas, na madura; e 18 amostras deformadas e 18 não deformadas na senil.

Em 2020 foram coletadas amostras indeformadas na mesma camada e densidade amostral supracitada, para avaliar as voçorocas quanto à escala temporal, considerando o intervalo de aproximadamente 3 anos.

4.5.6. Análises de solo

Apresentado no tópico 2.5.6. do Capítulo 1.

4.5.7. Análises dos atributos químicos do solo

Os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ foram determinados de acordo com Teixeira et al. (2017) e o teor de carbono orgânico total (COT) conforme apresentado por Yeomans e Bremner (1988).

4.5.8. Análises dos atributos físicos do solo

Foi realizada a determinação da densidade do solo (D_s) conforme descrito por Teixeira et al. (2017).

4.5.9. Voo sistematizado e quantificação de massa de solo e de nutrientes edáficos removidos utilizando drone nos anos de 2017 e 2020

Apresentado no tópico 2.5.9. do Capítulo 1, porém aqui foram considerados dois voos, um em 17 de maio de 2017 e o outro em 18 de fevereiro de 2020, figuras 28 e 29, respectivamente, utilizando o drone modelo DJI Phantom 4 PRO. As imagens capturadas com resolução espacial de 4 cm foram utilizadas na triangulação aerodinâmica dos pontos-chave para montar a cena da área. A partir da triangulação aerodinâmica, foram geradas nuvens de pontos para cada ano, a fim de preencher o volume, cortar e preencher, toda a superfície das voçorocas em diferentes estágios evolutivos.



Figura 28. Voçorocas (1-Madura, 2-Senil, 3-Juvenil, 4-Inicial) em 17 de Maio de 2017.

Fonte: João Henrique Gaia Gomes (2017).



Figura 29. Voçorocas (1-Madura, 2-Senil, 3-Juvenil, 4-Inicial) em 17 de Maio de 2017.
Fonte: João Henrique Gaia Gomes (2017).

4.6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média de valores para a precipitação pluviométrica nos meses de Maio e Novembro de 2017 e Fevereiro de 2020 é apresentadas na Figura 30.

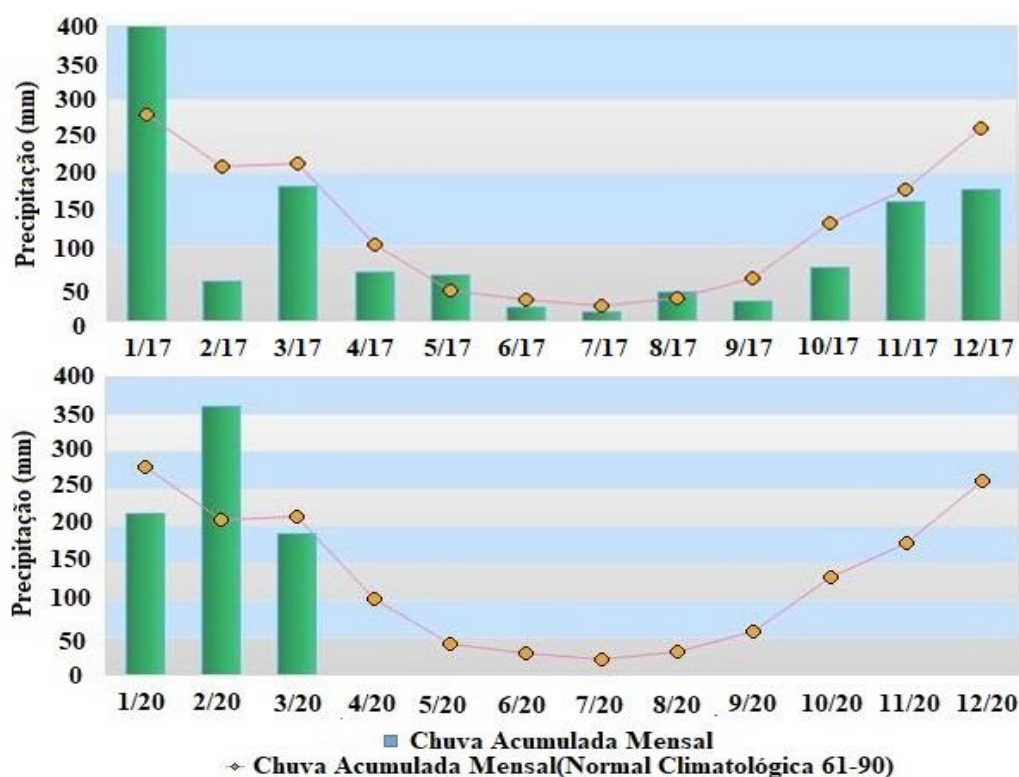


Figura 30. Dados climatológicos de maio e novembro em 2017 e fevereiro em 2020.
Fonte: INMET (2020).

Os valores médios de precipitação verificados para os meses de maio e novembro de 2017 oscilam entre 100 e 200 mm, respectivamente. Já no mês de fevereiro de 2020 foram verificados valores de magnitude de 350 mm, sendo este mais elevado em comparação aos demais. Esse padrão pode estar associado as elevadas precipitações pluviométricas que ocorrem no período chuvoso.

Ao avaliar o potencial e a intensidade das chuvas no processo erosivo na Ilha da Madeira – Portugal, Coutinho e Antunes (2013) e Bouderbala et al. (2019) na Bacia de Macta - Argélia, verificaram que ambos são diretamente proporcionais.

Os valores quantificados para os atributos físicos: área, volume, D_s e massa total de solo removida nos anos de 2017 e 2020 são apresentadas na Tabela 11.

Foi verificado o aumento da área entre os estágios evolutivos das voçorocas nos diferentes períodos de avaliação. Quanto à comparação temporal, com exceção da voçoroca em estágio inicial observou-se a redução da área de 2017 para 2020, sendo o menor valor, de 54,83 m² verificado para a voçoroca em estágio inicial e o maior valor de 1069,23 m² para a voçoroca em estágio senil. Esse padrão também pode ser observado no ano de 2020, em que menores valores estiveram associados à voçoroca inicial e maiores a senil, 60,08 m² e 1001,19 m², respectivamente.

Tabela 9. Valores dos atributos: área, volume, Ds e quantificação de massa de solo removida nos dois anos.

Quantificação realizada em maio de 2017				
Estágio	Área	Volume	Ds	Massa total de solo removido
	(m²)	(m³)	(Mg m⁻³)	(Mg m⁻³)
Inicial	54,83	32,44	1,12	36,33
Juvenil	117,97	79,41	1,05	83,38
Madura	934,28	1637,93	1,14	1867,24
Senil	1069,23	1709,35	1,28	2187,97
Quantificação realizada em fevereiro de 2020				
Estágio	Área	Volume	Ds	Massa total de solo removido
	(m²)	(m³)	(Mg m⁻³)	(Mg m⁻³)
Inicial	60,08	41,18	1,12	46,12
Juvenil	128,67	80,87	1,05	84,91
Madura	942,17	1658,54	1,14	1890,74
Senil	1001,19	1691,21	1,28	2164,75

Padrão similar foi verificado para o volume, sendo o menor, de 32,44 m³, observado na voçoroca inicial e o maior de 1709,35 m³ na senil no 2017. Já no ano de 2020 o menor volume observado foi de 41,18 m³, na inicial e o maior de 1691,21 m³ na senil. Para a quantidade de massa removida em ambos os anos, os valores apresentaram as seguintes distribuições: no ano de 2017, 36,33 Mg na voçoroca inicial e de 2187,97 Mg, na senil e 46,12 Mg na voçoroca inicial e de 2164,75 Mg. Para a voçoroca senil, foram estimados valores de massa de solo removida inferiores para o ano de 2020, o que pode estar relacionado com o aumento da vegetação no seu interior, o que diminuiu a remoção de material. Machado et al. (2010) ao analisarem a perda de solo e de nutrientes em voçorocas com e sem intervenção na mesma região desse estudo, verificaram remoção de volumes de solo respectivamente 6,50 m³ e 10,71 m⁻³, demonstrando que o tipo de intervenção realizado com o emprego de leguminosas diminuiu as perdas por erosão.

O padrão observado nesse estudo pode estar associado à face de exposição da vertente, que segundo Gaia-Gomes et al. (2017) possui maior vulnerabilidade à ocorrência de processos erosivos em estágio avançado, e a sazonalidade climática. Conforme apresentado na Figura 30. Verifica-se que as maiores precipitações ocorreram no mês de fevereiro, o que pode contribuir para o maior desprendimento, transporte e deposição de partículas do solo ao longo da paisagem.

Quanto aos valores de densidade do solo (Ds), observa-se padrões distintos, sendo o menor valor verificado na voçoroca em estágio juvenil e o maior na senil, 1,05 (Mg m⁻³) e (1,28 Mg m⁻³), respectivamente. A voçoroca em estágio juvenil possui leito mais raso e menor inclinação quando comparada à voçoroca em estágio senil, que é mais profunda e possui área e volume maiores. Essas diferenças justificam a ocorrência de menores valores para esse atributo, que normalmente, possui padrão de aumento em profundidade devido ao adensamento decorrente da pressão proporcionada pelas camadas superiores sobre as inferiores e conseqüentemente redução da porosidade.

Os valores quantificados de massa de nutrientes do solo que removidos em maio e novembro de 2017 são apresentados na Tabela 12.

Tabela 10. Valores médios de massa de nutrientes removida no ano de 2017.

Quantificação realizada em 17 de maio de 2017				
Estágio	Ca²⁺	Mg²⁺	K⁺	COT
(Mg m⁻²)				
Inicial	0,03	0,02	0,02	0,21
Juvenil	0,07	0,06	0,04	1,04
Madura	0,17	0,13	0,75	7,70
Senil	0,37	0,20	1,99	24,66
Quantificação realizada em 17 de novembro de 2017				
Estágio	Ca²⁺	Mg²⁺	K⁺	COT
(Mg m⁻²)				
Inicial	0,04	0,04	0,03	0,20
Juvenil	0,05	0,08	0,08	0,83
Madura	0,22	0,22	3,17	12,14
Senil	0,39	0,31	9,44	37,09

Quanto à quantidade de nutrientes associada ao material de solo removido, os menores valores foram verificados na voçoroca em estágio inicial, já os maiores valores no estágio senil, para ambos os meses.

Os valores de Ca²⁺ variaram de 0,03 Mg m⁻² a 0,37 Mg m⁻² e 0,04 Mg m⁻² a 0,39 Mg m⁻², em maio e novembro, respectivamente, estando o menor valor associado à voçoroca em estágio inicial em maio, e o maior a senil em novembro. Para os valores de COT foi verificado o mesmo padrão, sendo os menores valores quantificados no estágio inicial e os maiores no senil em ambos os meses, valores variando de 0,21 Mg m⁻² a 0,20 Mg m⁻² em maio e 37,09 Mg m⁻² a 24,66 Mg m⁻² em novembro. Uma grande remoção de nutrientes pode demandar tempo, em função disto, para a voçoroca em estágio inicial, este pode não ter sido o suficiente para grande remoção o que ratifica o padrão observado. Maiores valores de nutrientes removidos podem estar relacionados ao processo de estabilização, que favorece a presença de indivíduos arbóreos, promovendo menor remoção de material sólido, e viabilizando à adição de matéria orgânica, via serrapilheira, que vai sendo decomposta e, conseqüentemente, favorece maior liberação de nutrientes.

Com relação ao Mg²⁺ os menores valores foram observados para o mês de maio em todas as voçorocas, sendo os menores valores quantificados nas voçorocas em estágio inicial e os maiores na senil, respectivamente, 0,02 Mg m⁻² e 0,20 Mg m⁻² em maio e 0,04 Mg m⁻² e 0,31 Mg m⁻² em novembro, o que pode ser explicado pelo fato desse nutriente apresentar maior facilidade em ser removido principalmente em conjunto com os sedimentos carreados (Kochem, 2014).

Quanto ao K⁺ os menores valores foram verificados na voçoroca em estágio inicial e os maiores na senil nos dois meses, com valores variando de 0,02 Mg m⁻² a 1,99 Mg m⁻² e 0,03 Mg m⁻² a 9,44 Mg m⁻² para maio e novembro, respectivamente. Esse padrão pode estar associado ao fato das voçorocas que estão em processo de regeneração ou até mesmo menos erodidas, possuem quantidades mais elevadas de minerais primários facilmente intemperizáveis, atuando como fontes de K⁺. À medida que o processo de erosão se intensifica, em paralelo, ocorre a diminuição dos teores desse nutriente em conjunto com massa de solo.

O padrão observado para os nutrientes analisados pode estar relacionado à variação sazonal, com o aumento da precipitação pluviométrica no mês de novembro, esta favorece maiores remoções de massa de nutrientes.

4.7. CONCLUSÕES

A quantidade de massa de solo removida aumenta em escala temporal em voçorocas senis.

A variação sazonal atua como fator condicionante nos processos erosivos em todos os estágios evolutivos.

A quantidade de massa de solo removida aumenta em função do estágio evolutivo, porém a partir do momento em que há regeneração ou a presença de espécies arbóreas, a remoção de massa de solo diminui.

A utilização de drones permite praticidade no levantamento de informações que podem subsidiar programas de recuperação de áreas degradadas.

4.8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Z.* v. 22, p. 711–728, 2014.
- AIMON, J. G. S.; SILVA, R. V. da; GOES, M. U. de A.; SILVA, T. A. da.; TRENTIN, R. Geotechnologies applied to mapping erosive processes: case study Voçoroca do Ijuízinho. In: 13º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial: Anais do COBRAC de 21-24 de Outubro. 2018, Florianópolis –SC, Brasil - UFSC, 2018. p. 741-749.
- BATISTELLA, M.; ANDRADE, R. G.; BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. C.; SILVA, G. B. S. Geotecnologias e gestão territorial da bovinocultura no Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. Especial, p. 251-260, 2011.
- BOUDERBALA, D.; SOUIDI.; HAMIMED, A.; BOUAMAR, B. Estimation of rainfall erosivity by mapping at the watershed of macta (Algeria). *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 71, n. 1, p. 274 – 294, 2019. DOI: 10.14393/rbcv71n1-2218.
- COUTINHO, F. S.; PEREIRA, M. G.; TOSTES, J. DE O.; FRANCELINO, M. R.; GAIA-GOMES, J. H. Application of Georadar in Areas with Different Vegetation Cover. *Floresta e Ambiente*, v.24: p.1-8, 2017.
- COUTINHO, M. A.; ANTUNES, C. A. Rainfall erosivity in Madeira Island. Analysis of the 20 February 2010 catastrophe. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 36, n. 4, p. 417-425, 2013.
- CHEROBIN, S. F. Estimativa de erosão e sua relação com os diferentes mecanismos erosivos atuantes: estudo da voçoroca Vila Alegre, 2012, 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.
- DALMOLIN, Q.; SANTOS, D. R. Sistema Laser scanner: conceitos e princípios de funcionamento. Curitiba, UFPR, ed. 3, 2004.
- DOBEK, K.; DEMCZUK, P.; RODZIK, J.; HOLUB, B. Types of gullies and conditions of their development in silvicultural loess catchment (Szczepbrzeszyn Roztocze region, Poland). *Landform Anal.*, v. 17, p. 39–42, 2011.
- GAIA-GOMES, J. H. Caracterização morfométrica da sub-bacia do ribeirão Cachimbal, RJ e atributos edáficos condicionantes no processo erosivo em pedoformas côncava e convexa. 2017, 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.
- GAIA-GOMES, J. H.; PEREIRA, M. G.; FRANCELINO, M. R.; LARANJEIRA, J. P. B. Physical and chemical attributes of soil on gully erosion in the Atlantic forest biome, *Revista Ambiente & Água*, v. 15, n. 1, p. 1-15, 2020.
- GARRITANO, F. do N.; LOUREIRO, H. A. S.; SANTOS, S. da S.; MARTINS, V.; GUERRA, A. J. T. Monitoramento, Mapeamento e caracterização de voçoroca através de imagens do Google Earth Pro e uso de drone. In: IV Jornada de Geotecnologias do Estado do Rio de Janeiro. 5-8 Setembro. 2018, Seropédica-RJ, Brasil-UFRJ. p. 83-93, 2018.

- KOCHEM, M. L.; MINELLA, J. P. G.; SCHENATO, R. B.; SWAROWSKY, A. Características físicas e químicas de sedimentos em suspensão durante eventos fluviométricos em bacias hidrográficas do sul do Brasil. 2014, 120f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2014.
- MACHADO, R. L.; RESENDE, A. S. de; CAMPELLO, E. F. C.; OLIVEIRA, J. Á.; FRANCO, A. A. Soil and nutrient losses in erosion gullies at different degrees of restoration. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 945-954, 2010.
- MENEZES, C. E. G.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; ANJOS, L. H. C.; PAULA, R. R.; SOUZA, M. E. de. Litter contribution and decomposition and root biomass production in forests at different sucessional stages in Pinheiral, RJ. *Ciência Florestal*, v. 20, p. 439-452, 2010.
- OLIVEIRA, F. F.; SANTOS, R. E. S. dos; ARAUJO, R. da C. de. Erosive processes: dynamics, causing agents and conditioning factors. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, v. 5, n.3, p. 60-83, 2018.
- RAMOS, A. W. P.; GALVANIN, E. A. dos S.; XAVIER, F. V.; NEVES, S. M. A. da S.; SILVA, G. de J. O. Geotecnologias aplicadas a análise do estado da conservação ambiental das pastagens do município de Araputanga-MT, Brasil. 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Jardim, MS. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 545-554, 2018.
- RAMOS, I. Q. Levantamento de voçoroca com o uso do laser scan. RJ. 34 f. Monografia. Instituto de Floresta. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ, 2010.
- SANTOS, G. L. dos; PEREIRA, M. G.; LIMA, S. S. de; CEDDIA, M. B.; MENDONÇA, V. M. M.; DELGADO, R. C. Landform curvature and its effect on the spatial variability of soil attributes, Pinheiral-Rj/Br. *Cerne*, v. 22, n. 4, p. 431-438, 2016.
- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C. de, SANTOS, H. G. dos.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2015, 343p.
- SANTOS, G. L. dos; PEREIRA, M. G.; DELGADO, R. C.; MORAES, L. F. D. de. Padrões da regeneração natural na região de Mar de Morros, Pinheiral-RJ. *Floresta e Ambiente*, v. 24, p. 1-11, 2017.
- SILVA, A. M. da. Caracterização dos fatores naturais e antrópicos responsáveis pelo desencadeamento das feições erosivas na cabeceira do córrego Campo Alegre. 2007, 158f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2007.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de Métodos de Análise de Solo. Embrapa Solos, 3ed., 2017, 264p.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun Soil Sci Plant Anal.*, v. 19, p. 1467-1476, 1988.

5. CONCLUSÕES GERAIS

Os maiores valores para área, volume, densidade e massa de solo removido foram quantificados na voçoroca em estágio senil, com maiores valores de massa de solo removida verificados para o cálcio e carbono orgânico total. Já para o magnésio na juvenil e potássio e sódio na voçoroca em estágio inicial.

O padrão de distribuição dos atributos físicos e químicos do solo nas voçorocas é influenciado pelos estágios evolutivos e as faces da superfície (face interna e externa), na camada de 0-0,10 m, e somente quanto as faces na camada de 0,10-0,20 m. Estando o estágio classificado como senil com melhores condições edáficas para a face interna.

A quantidade de massa de solo removida aumenta em função do estágio evolutivo, porém a partir do momento em que há regeneração ou a presença de espécies arbóreas, a remoção de massa de solo diminui.

O uso de geotecnologias permite praticidade no levantamento de informações que podem subsidiar programas de recuperação de áreas degradadas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como proposta avaliar quatro voçorocas localizadas em superfície convexa em diferentes estágios evolutivos, tendo sido realizadas análises dos atributos edáficos e utilizadas técnicas geotecnológicas a fim de se avaliar a perda de massa de solo e nutrientes, na região do Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral (RJ). Nesse contexto, a caracterização dos atributos edáficos e o uso de drone e de técnicas de processamento de imagens mostraram-se eficientes na avaliação da remoção de massa em voçorocas em processos erosivos em diferentes estágios evolutivos, permitindo extrair informações fundamentais para serem utilizadas em programas de manejo e conservação do solo e da água.

Dentre os estágios evolutivos, para a região estudada, a voçoroca em estágio senil apresentou melhores condições de recuperação e menor perda de massa de solo, padrão que pode estar associado ao processo de regeneração espontânea presente em seu interior. No entanto, foi possível verificar, a partir dos estágios estudados, que grandes volumes de solo e nutrientes são removidos em função do processo erosivo avançado, o que pode comprometer dentre inúmeros aspectos, a qualidade ambiental, como o assoreamento de rios, dentro outras ações indiretas. Tal fato demonstra a grande importância de serem desenvolvidos mais estudos a fim de serem desenvolvidas práticas de recuperação mais eficientes, que levem em consideração os diferentes estágios evolutivos, os atributos edáficos e as características da área e ferramentas que possibilitem a obtenção de informações precisas em menor tempo.

O desenvolvimento desse estudo é de grande relevância para a determinação de práticas adequadas a serem adotadas em programas de recuperação de áreas degradadas. No entanto, é fundamental o envolvimento de ações políticas nos diferentes níveis (estaduais, municipais), universidades, empresas de fomento e órgãos de pesquisa, que promovam incentivos a recuperação e conservação do solo e da água. Adicionalmente devem ser incentivados programas de extensão que auxiliem na difusão dos conhecimentos gerados nos projetos de pesquisa desenvolvidos e ações de educação ambiental que promovam maior conscientização da população de maneira geral.