

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**SIDINEI MARQUES DE CARVALHO**

<https://orcid.org/0009-0008-2866-0728>

**ANÁLISE HIDROLÓGICA DA ESCASSEZ HÍDRICA NA LAGOA GRANDE EM  
VILA VELHA, ES**

VITÓRIA-ES

2023

SIDINEI MARQUES DE CARVALHO

**ANÁLISE HIDROLÓGICA DA ESCASSEZ HÍDRICA NA LAGOA GRANDE EM  
VILA VELHA, ES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Rafael de Castro Catão

Co-orientador: Prof. Dr. João Paulo de Carvalho Araújo

VITÓRIA-ES

2023

Carvalho, Sidinei Marques de.

X100x

**ANÁLISE HIDROLÓGICA DA ESCASSEZ HÍDRICA NA LAGOA  
GRANDE EM VILA VELHA, ES**

- 2023.

103p.

Orientador: Prof. Dr. Rafael de Castro Catão

Co-orientador: Prof. Dr. João Paulo de Carvalho Araújo

Monografia (bacharel) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Departamento de Geografia.

1. Hidrologia. 2. Bacia hidrográfica costeira. I. Carvalho, Sidinei Marques de. II. Universidade Federal do Espírito Santo. CCHN. III. Grau.

CDU xx

SIDINEI MARQUES DE CARVALHO

**ANÁLISE HIDROLÓGICA DA ESCASSEZ HÍDRICA NA LAGOA GRANDE EM  
VILA VELHA, ES**

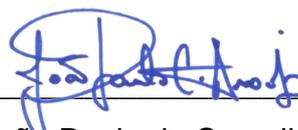
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Aprovado em 08 de fevereiro de 2023.

COMISSÃO EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Rafael de Castro Catão  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador



---

Prof. Dr. João Paulo de Carvalho Araújo  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Co-orientador

---

Prof. Dr. André Luiz Nascentes Coelho  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador

---

Prof. Dr. Eberval Marchioro  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
RAFAEL DE CASTRO CATAO - SIAPE 1416049  
Departamento de Geografia - DG/CCHN  
Em 09/03/2023 às 16:26

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/665062?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
ANDRE LUIZ NASCENTES COELHO - SIAPE 3436722  
Departamento de Geografia - DG/CCHN  
Em 11/03/2023 às 10:22

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/665774?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
EBERVAL MARCHIORO - SIAPE 3221168  
Departamento de Geografia - DG/CCHN  
Em 12/03/2023 às 20:47

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/665905?tipoArquivo=O>

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família, meus amores: Lucianny, Beatriz e Jamile, por acreditarem que seria possível.

Agradeço a cada um dos meus professores e professoras, que se dispuseram em me transmitir seus conhecimentos.

Agradeço a todos os colegas de disciplinas que em algum momento se dispuseram a ajudar-me, e em especial, a Douglas Rabbi e Josimar Modesto, os *Regolito's*, pelo incentivo, ajuda e companheirismo.

Agradeço ao Deus Eterno, o Senhor dos senhores e das senhoras.

“Eu não sou quem eu gostaria de ser;  
eu não sou quem eu poderia ser, ainda,  
eu não sou quem eu deveria ser. Mas graças a  
Deus eu não sou mais quem eu era!”

Martin Luther King

## RESUMO

CARVALHO, Sidinei Marques de. **Análise hidrológica da escassez hídrica na Lagoa Grande em Vila Velha, ES**. 103p. Monografia (Bacharelado em Geografia), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2023.

O município de Vila Velha teve sua população acrescida em 311% entre 1970 e 2021, da qual 0,5% habitam a área rural. Anualmente, recebe ainda cerca de 186 mil turistas. A demanda por infraestrutura provocou mudanças relevantes na cobertura e uso da terra na zona urbana e rural. Invariavelmente há crescente impermeabilização do solo, e muda-se as dinâmicas de escoamentos e infiltração do ciclo hidrológico. Neste panorama, se questiona se estas alterações influenciam na recarga hídrica da Lagoa Grande, no bairro Ponta da Fruta, e intensificam a escassez hídrica, devido a mudança nos coeficientes de escoamento superficial (C), aumentando os picos de vazão e reduzindo o potencial infiltrado no solo em eventos de precipitação. Destarte, se realizou pesquisa básica em ciências hidrológicas por diferentes fontes teóricas, tendo-se atingido os objetivos desta pesquisa com a delimitação da área de estudo, por meio do programa GRASS GIS e coleta de pontos em campo; mapeando-se as superfícies presentes em 1970, 1990 e 2021, com métodos de fotointerpretação de imagens orbitais e suborbitais, relacionando com os tipos de solo e declividades para obtenção do coeficiente C, realizando-se estimativas hidrológicas do volume escoado superficialmente e do volume com potencial para infiltrar e demonstrando-se com o método Racional, as variações nas vazões máximas, com os coeficientes C obtidos, aplicados em precipitações registradas. Dos resultados alcançados, houve aumento na estimativa de volume escoado, redução no volume com potencial à infiltração e as estimativas de vazões máximas, aumentaram com a elevação de C. Conclui-se que a hipótese se confirma, devido à maior estima de escoamento superficial e redução do volume potencial para infiltração, porém há precedência aos períodos de estiagem sazonal para a escassez hídrica. Os processos de impermeabilização na bacia hidrográfica costeira da Lagoa Grande, requerem gestão crítica e análises com instrumentação e outros métodos de pesquisa, podendo corroborar os resultados e subsidiar tomadas de decisão pública.

Palavras-chave:

Impermeabilização. Bacia hidrográfica costeira. Delimitação. Escoamento. Infiltração.

## ABSTRACT

CARVALHO, Sidinei Marques de. **Análise hidrológica da escassez hídrica na Lagoa Grande em Vila Velha, ES**. 103p. Monografia (Bacharelado em Geografia), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2023.

The municipality of Vila Velha had its population increased by 311% between 1970 and 2021, of which 0.5% live in the rural area. Annually, it still receives around 186 thousand tourists. The demand for infrastructure caused relevant changes in land cover and land use in urban and rural areas. Invariably there is increasing soil impermeability, and the flow and infiltration dynamics of the hydrological cycle change. In this scenario, it is questioned whether these changes influence the water recharge of Lagoa Grande, in the Ponta da Fruta neighborhood, and intensify water scarcity, due to the change in surface runoff coefficients (C), increasing flow peaks and reducing the potential infiltrated into the soil in precipitation events. Thus, a basic research was carried out in hydrological sciences from different theoretical sources, having achieved the objectives of this research with the delimitation of the study area, through the GRASS GIS program and collection of points in the field; mapping the surfaces present in 1970, 1990 and 2021, with methods of photointerpretation of orbital and suborbital images, relating to the types of soil and slopes to obtain the coefficient C, performing hydrological estimates of the volume drained superficially and the volume with potential for infiltrate and demonstrating with the Rational method, the variations in the maximum flows, with the coefficients C obtained, applied in registered precipitations. From the results achieved, there was an increase in the estimated runoff volume, a reduction in the volume with potential for infiltration and the estimates of maximum flows, increased with the elevation of C. It is concluded that the hypothesis is confirmed, due to the greater estimate of surface runoff and reduction of the potential volume for infiltration, however, there is precedence to the seasonal drought periods for water scarcity. The waterproofing processes in the coastal watershed of Lagoa Grande require critical management and analysis with instrumentation and other research methods, which can corroborate the results and support public decision-making.

Key words: Waterproofing. Coastal Watershed. Delimitation. Flow. Infiltration.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo de pesquisa.....	43
Figura 2 - Aparelho receptor GPS da marca Garmin.....	46
Figura 3 - Produtos da delimitação automática e manual em campo.....	47
Figura 4 - Variações Eustáticas no Holoceno.....	49
Figura 5 - Solos da bacia costeira da Lagoa Grande a oeste da Rodovia ES-060...50	
Figura 6 - Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas.....	51
Figura 7 - Fragmentos florestais de vegetação com influência marinha.....	51
Figura 8 - Foto aérea da área de estudo em 1970.....	55
Figura 9 - Fotos aéreas da área de estudo em 1990.....	56
Figura 10 - Imagem aérea orbital da área de estudo em 2021.....	57
Figura 11 - Exemplo dos cálculos de média ponderada para o coeficiente C.....	59
Figura 12 - Zonas Naturais e suas características para Vila Velha, ES.....	60
Figura 13 - Exutório antropizado da Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande..62	
Figura 14 - Mapeamento dos fragmentos florestais.....	69
Figura 15 - Mapeamento de áreas de grama e herbáceas.....	70
Figura 16 - Mapeamento das áreas de pastagem e solo exposto.....	71
Figura 17 - Mapeamento das áreas cultivadas.....	71
Figura 18 - Mapeamento da urbanização.....	72
Figura 19 - Mapeamento das áreas de corpos d'água e alagadiços.....	73
Figura 20 - Aterro e estrutura de concreto para contenção.....	74

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1 — Localização da Lagoa Grande.....	41
Mapa 2 — Mapa Geológico da bacia costeira da Lagoa Grande.....	49
Mapa 3 — Limites da Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande.....	63
Mapa 4 — Batimetria da Lagoa Grande.....	65
Mapa 5 — Mapa de Declividades da bacia costeira da Lagoa Grande.....	66

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 — Variação da taxa de infiltração.....	36
Gráfico 2 — Variação da capacidade de infiltração no tempo.....	37
Gráfico 3 — Feições de declividades da bacia costeira da Lagoa Grande.....	66
Gráfico 4 — Precipitações registradas nos 18 meses anteriores à captação da imagem aérea.....	75
Gráfico 5 — Estimativa da vazão máxima ( $Q_{max}$ ) - Demonstração da influência de C em precipitações registradas.....	80

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Estratigrafia geológica da bacia costeira da Lagoa Grande.....	48
Quadro 2 — Classes de superfícies adotadas a partir das Tabelas de C.....	53
Quadro 3 — Características morfométricas da bacia costeira da Lagoa Grande.....	64
Quadro 4 — Áreas das superfícies e Coeficientes C relacionados.....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Valores definidos para C pela <i>American Society of Civil Engineers</i> (ASCE).....	29
Tabela 2 — Valores de C usados pela Prefeitura de São Paulo, pelo critério de Fruhling.....	30
Tabela 3 — Valores definidos para o Coeficiente de Escoamento Superficial pelo USDA.....	31
Tabela 4 — Classes de declividades.....	67
Tabela 5 — Precipitações das Estações pluviométricas Código 02040022 e 02040035.....	76
Tabela 6 — Coeficientes $C_{\text{geral}}$ da Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande.....	77
Tabela 7 — Estimativas de volume escoado e volume potencial para infiltração.....	79

## LISTA DE SIGLAS

AGERH - Agência Estadual de Recursos Hídricos  
ANA - Agência Nacional de Águas  
APA - Área de Proteção Ambiental  
APA-LG - Área de Proteção Ambiental da Lagoa Grande  
APP - Área de Proteção Permanente  
ASCE - *American Society of Civil Engineers*  
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Serviço Geológico do Brasil)  
CSCDA - *Copernicus Space Components Data Access*  
DGED - *Defense Gridded Elevation Data*  
DTED - *Digital Terrain Elevation Data*  
ECO 92 - Conferência Internacional sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento  
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
EMCAPA - Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária  
EPSG - *European Petroleum Survey Group*  
ESA - *European Space Agency*  
GEOBASES - Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo  
GERCA - Grupo de Erradicação e Racionalização da Cafeicultura  
GPRH - Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos  
GPS - *Global Positioning System*  
GRASS - *Geographic Resources Analysis Support System*  
IA - Inteligência Artificial  
IBC - Instituto Brasileiro do Café  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IJSN - Instituto Jones dos Santos Neves  
Incaper - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural  
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia  
KOMPSAT - Korean Multi-purpose Satellite-3  
MDE - Modelo Digital de Elevação  
MDT - Modelo Digital de Terreno

OGS - Open Geospatial Consortium  
PDM - Plano Diretor Municipal  
PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos  
PVV - Prefeitura de Vila Velha  
QGIS - *Quantum Geographical Information System*  
SEMMA - Secretaria Municipal de Meio Ambiente (PVV)  
SEPLAN - Secretaria de Estado do Planejamento ES  
SIG - Sistema de Informação Geográfica  
SIRGAS 2000 - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000  
SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza  
UFES - Universidade Federal do Espírito Santo  
UFV - Universidade Federal de Viçosa  
USDA - *United States Department of Agriculture*  
UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
UTM - *Universal Transverse Mercator*  
TIFF - Tag Image File Format  
TPGA - Tempo de Penetração da Gota de Água

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	20
2.1	OBJETIVO PRINCIPAL.....	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	21
3.1	A OCUPAÇÃO DA TERRA E SUAS CONSEQUÊNCIAS.....	21
3.2	IMPERMEABILIZAÇÃO URBANA E RURAL.....	22
3.3	O CICLO HIDROLÓGICO.....	23
3.4	BACIAS DE DRENAGEM.....	26
3.5	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	28
3.6	ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	32
3.7	INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO.....	34
3.8	ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL E SUBTERRÂNEO.....	38
3.9	MANUTENÇÃO DA ÁGUA NO SOLO.....	39
<b>4</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO</b> .....	41
4.1	CENÁRIO POLÍTICO-ADMINISTRATIVO.....	41
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	43
5.1	DELIMITAÇÃO DA BACIA DE DRENAGEM.....	44
5.1.1	<b>Delimitação automática</b> .....	44
5.1.2	<b>Delimitação manual</b> .....	46
5.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	47

5.3	ESTUDO DAS DECLIVIDADES DA BACIA.....	52
5.4	MAPEAMENTO DA COBERTURA E USO DA TERRA.....	53
5.5	DEFINIÇÃO DOS COEFICIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	58
5.6	ESTIMAÇÕES HIDROLÓGICAS.....	59
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>62</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>82</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>85</b>
	<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>94</b>
	<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>95</b>
	<b>APÊNDICE C.....</b>	<b>96</b>
	<b>APÊNDICE D.....</b>	<b>97</b>
	<b>APÊNDICE E.....</b>	<b>100</b>
	<b>APÊNDICE F.....</b>	<b>101</b>
	<b>APÊNDICE G.....</b>	<b>102</b>
	<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>103</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na década de 1960, a maior parte da população, em uma crescente mudança de seus hábitos de vida, passou ao meio urbano (IBGE, 1979), em busca de trabalho, saúde e educação, ampliando as cidades em direção às periferias, encostas e várzeas (ROBAINA *et al.*, 2010; JHA *et al.*, 2012).

No município de Vila Velha, as migrações e natalidades entre 1970 e 2021, acresceram a população “canela-verde” (CONGRESSO BRASILEIRO DE SOCIOLOGIA, 2015), em 311% (PVV, 2020), segundo projeções do IBGE (2022), sendo que somente 0,5% da população habitam a área rural.

Anualmente, ainda, a presença sazonal por turistas, cria um aumento populacional de cerca de 12% somente no verão, no município, sendo que o número total de turistas, em 2017, estimou-se em 185.632 em janeiro (verão), carnaval, abril (Festa da Penha), julho (inverno) e outubro (primavera), de acordo com o Plano Municipal de Turismo (VILA VELHA, 2020), sendo os bairros litorâneos os mais afetados por esta migração temporária.

Como efeito, os processos de urbanização para suprir a demanda por infraestrutura, que são diretamente proporcionais ao crescimento populacional, provocam mudanças relevantes na cobertura e uso da terra, tanto na zona urbana em expansão, como também na área rural de Vila Velha.

A impermeabilização das superfícies impacta a dinâmica do ciclo hidrológico, por meio de concretagens, pavimentação e compactação do solo, e do tráfego de veículos e maquinários, pessoas e animais (SOLERA *et al.*, 2020, p. 841). A crescente horizontalização da cidade (VALFRÉ; RIOS, 2019), projeta mais ainda a impermeabilização do solo.

Diante deste contexto de crescimento populacional e expansão das infraestruturas, a Lagoa Grande, de 1970 a 2021, foi sendo englobada neste período pela urbanização e adensamento de habitações, muitas vezes em loteamentos irregulares (VISÃO AMBIENTAL, 2014).

A justificativa desta pesquisa, em meio ao panorama expansivo urbano descrito, foi evidenciada na 4ª Reunião Ordinária do ano de 2022, do Conselho Deliberativo da Área de Proteção Ambiental da Lagoa Grande, em Ponta da Fruta, Vila Velha, na qual o conselheiro Sr. Paulo César Alves levantou uma questão, descrita aqui com suas palavras:

*[...] “a poluição [na Lagoa Grande] estava ligada a chuvas exponenciais, porém durante as estiagens a qualidade da água voltava a ter sua qualidade normalizada. Entretanto, durante o verão ocorreram diversas estiagens e a água não retornou a ser própria” [...] (VILA VELHA, 2022).*

Solicitando, assim, à Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA) da Prefeitura de Vila Velha (PVV), a realização de um estudo ambiental para analisar a situação degradante (VILA VELHA, 2022).

O senso comum entre os conselheiros, relaciona o baixo nível da Lagoa Grande a mudanças adversas no seu ecossistema, de maneira que se justifica o estudo de modo a entender cientificamente, os motivos da escassez hídrica, de modo a subsidiar tomada de decisões.

Em consequência, e, revestido de uma visão amplificada da dinâmica territorial que a ciência geográfica nos insere, indaga-se sobre a questão particular da área de contribuição hídrica da Lagoa Grande, quanto às variáveis de escoamentos e infiltrações, devido às alterações na cobertura e uso da terra a partir da impermeabilização das superfícies, e questiona-se: estas alterações locais têm influenciado na escassez hídrica da Lagoa Grande?

Advide-se da hipótese que, os processos de impermeabilização das superfícies na área de estudo, impactam e influenciam no montante de água de chuva que sai da bacia em decorrência de aumento das vazões de pico em eventos de precipitação, e, que menores quantidades de água no solo são retidas por infiltração, reduzindo assim o volume de recarga do aquífero freático, e, conseqüentemente, o tempo de recarga hídrica da Lagoa Grande, por meio do escoamento de base, em períodos de estiagens.

De maneira a posicionar-se à hipótese, realiza-se pesquisa básica em ciências hidrológicas, por entre referencial teórico em dissertações de mestrado, teses de

doutoramento, livros, vídeoaulas, artigos acadêmicos, planos municipais delineadores de gestão, entre outros, explorando com base no método hipotético-dedutivo.

No primeiro capítulo, busca-se o conhecimento das características da área de estudo, do seu contexto político-administrativo, e a delimitação da área de contribuição hídrica automática por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e, manual, em campo, com a coleta dos pontos de coordenadas nos topos dos divisores de águas.

Nos próximos capítulos, realiza-se o mapeamento de diferentes classes de superfícies presentes na área de estudo nos anos de 1970, 1990 e 2021, por meio do processo de fotointerpretação e os métodos de fotoleitura, fotoanálise e fotointerpretação (propriamente dita) proposto por Soares e Fiori (1976, apud XAVIER *et al.*, 2019) e (SOARES FILHO, 2000), e a inter-relação com os tipos de solo e declividades para definição dos coeficientes de escoamento superficial.

No quarto e último capítulo, estima-se o volume de escoamento superficial e volume do potencial de chuva para infiltração, em um evento de intensidade máxima média de precipitação ( $i_m$ ) tomado como referência, e, demonstra-se, com precipitações registradas nas estações pluviométricas, a variação da vazão em decorrência dos coeficientes  $C_{\text{geral}}$  obtidos para os anos de mapeamento.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Analisar se as mudanças na cobertura e uso da terra influenciam no potencial de infiltração de água no solo e na estimativa de escoamento superficial, e se, em consequência, impactam na capacidade de recarga hídrica da Lagoa Grande, durante os períodos de estiagem na bacia costeira da Lagoa Grande, em Vila Velha - ES.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir os limites da Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande em estudo primário;
- Analisar por meio de imagens temporais, as mudanças na cobertura e uso da terra, no interstício de 50 anos, na bacia de drenagem e relacionar com a variação do coeficiente de escoamento superficial (C);
- Estimar o volume de água escoada superficialmente e o volume com potencial para infiltrar nas diferentes superfícies da Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande,
- Demonstrar as variações do Coeficiente C, inter-relacionando com vazões máximas de precipitações registradas sobre a bacia costeira da Lagoa Grande.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 A OCUPAÇÃO DA TERRA E SUAS CONSEQUÊNCIAS

O processo de ocupação antrópica do solo, desde tempos remotos, esteve pautado na desigualdade em sua relação com o meio natural (SANTOS, 1996). A cobertura do solo e seus recursos sempre foram tratadas como meio de provisão e a degradação se estendia linearmente conforme as necessidades fossem estabelecidas, sendo desocupadas mediante o não suprimento das demandas fisiológicas e construídas.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2022) a população mundial atingiu 8 bilhões de habitantes em novembro de 2022. Um dos maiores efeitos deste montante de vidas humanas, são os impactos relacionados às mudanças na cobertura e uso da terra.

No Brasil, a década de 1960 foi marcada pela ascensão populacional (IBGE, 2010) com a mudança do estilo de vida rural para o urbano. Os aglomerados verticalizados ou horizontais que não suportam a massa populacional se destacam no município de Vila Velha (VALFRÉ; RIOS, 2019). Com uma população estimada de 508655 habitantes em 2021 (IBGE, 2021) e uma área urbanizada de 60,91 km<sup>2</sup>, possui uma estimativa de densidade demográfica urbana de 8309 habitantes por km<sup>2</sup>, já que somente 0,5% da população está instalada em áreas rurais.

As consequências mundiais do aumento populacional refletem-se muitas vezes em ocupações indevidas nas periferias onde o valor da terra é mais acessível, porém a infraestrutura é precária, distantes de serviços, emprego, educação e cuidado à saúde. Quando a terra não suporta as necessidades destas populações, o resultado potencial são experiências com enchentes, inundações, desabamentos e escorregamentos de massas.

Em meio às desigualdades instaladas no meio urbano, instauraram-se crescentes movimentos políticos na busca de equilíbrio para os processos de desenvolvimento, e busca por sustentabilidade em prol das futuras gerações. Na década de 1980, no Brasil, com a constituição da Lei Magna, instaurou-se a urbanização como um direito à população, e criou-se subsídios para novas legislações, como o Estatuto da Cidade, Lei 10257 (BRASIL, 2001) que declara em seu Parágrafo único:

Para todos os efeitos, esta Lei, denominada Estatuto da Cidade, estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental (BRASIL, 2001).

Desta forma, os Planos Diretores Urbanos (PDM) deveriam ser criados (Estatuto da Cidade, Artigo 4º), como um instrumento a dirimir o desenvolvimento socioeconômico ambiental dos municípios, regrido os movimentos de ocupação da terra e amenizar os impactos da urbanização.

### 3.2 IMPERMEABILIZAÇÃO URBANA E RURAL

As alterações na cobertura e uso da terra, visam a qualidade de vida das populações sejam para habitação, produção de alimentos, melhores infraestruturas, obtenção de matérias-primas e transporte. No entanto, estas alterações mudam a dinâmica original de infiltração da água, e, segundo Kobiyama *et al.*, tem o potencial de:

[...] desencadear [...] desastres nas áreas urbanas, [devido] a impermeabilização do solo, o adensamento das construções, a conservação de calor e a poluição do ar. Enquanto que nas áreas rurais, destaca-se a compactação dos solos, o assoreamento dos rios, os desmatamentos e as queimadas. (KOBİYAMA *et al.*, 2006, p. 97)

Ainda, segundo Kobiyama *et al.* (2006), o alto adensamento e grande impermeabilização, cria as ilhas de calor, que aumentam a temperatura do ar sobre a cidade, o que pode provocar grande evaporação das águas e intensificação das precipitações.

A impermeabilização da superfície do solo, seja na zona urbana ou rural, impede a potencialidade total da capacidade de infiltração da água das chuvas. A impermeabilização em áreas urbanas acontece com o adensamento das cidades, a canalização e mudanças de curso da drenagem original, alteração nas áreas de várzeas, calçamento e pavimentação de vias e áreas livres de residências.

Na zona rural, com o maior número de áreas preservadas, a impermeabilização tende a ser menor, porém, a retirada da cobertura vegetal, o pisoteamento e excesso de indivíduos na criação de gado e o uso de maquinários, compactam o solo e propiciam o escoamento superficial e menor capacidade das raízes se aprofundarem em busca de umidade, e solos expostos são compactados pela ação da chuva ao impactarem a superfície descoberta (BASSO, 2020).

Eventos de enchentes, inundações e alagamentos podem ocorrer mesmo em locais com pouca impermeabilização devido às intensas precipitações possíveis, sendo natural da dinâmica terrestre (FORINI; MARCHEZINI, 2020, p. 490). Contudo a impermeabilização da superfície do solo agrava as situações, causando prejuízos e perdas de vidas, sendo os desastres humanos, naturalmente consequências do risco a que populações são expostas (SAKAMOTO; MAGNONI JÚNIOR, 2020, p. 744).

Segundo o Banco Mundial em folheto de Jha *et al.* (2012), “apenas em 2010, 178 milhões de pessoas foram afetadas pelas inundações, [e] as perdas totais em anos excepcionais como 1988 e 2010 excederam \$40 bilhões”, sendo atingidas todos os tipos de áreas urbanas, desde pequenas cidades a megalópoles, com o crescente adensamento populacional as causas primárias das perdas.

A vulnerabilidade às inundações por causa das impermeabilizações, associam-se à qualidade socioeconômica da população que tende a diminuir (JHA *et al.*, 2012), e doenças devido o contato com águas contaminadas (hepatite A, leptospirose, alergias, micoses) tendem a aumentar, os esgotos não canalizados invadem mananciais potáveis, o desmoronamento de edificações, tanto particulares como públicas, crescem. Por consequência, doentes não trabalham, a saúde pública é onerada, imóveis são desvalorizados, os equipamentos urbanos requerem manutenções, escolas fechadas não formam profissionais, e, à medida que estas adversidades aumentam, as perdas econômicas são alavancadas.

### 3.3 O CICLO HIDROLÓGICO

Segundo Villela e Mattos (1975), pela definição proposta pelo *United States Federal Council of Science and Technology* em 1962, o ciclo hidrológico está vinculado à ciência que estuda a dinâmica cíclica da água em seus diferentes estados físicos e sua ocorrência na Terra, amparando todas as formas de vida, a hidrologia. “A hidrologia é uma ciência multidisciplinar” indissociável com as ciências naturais e humanas (LIMA, 2008).

A hidrosfera é o meio da Terra que se enquadram todos os recursos hídricos, e a inter-relação com a litosfera, a atmosfera e a biosfera são permanentes e contínuas (LISBOA/UFSC, 2022), em um ciclo de trocas sem perdas.

Podemos relatar que o ciclo hidrológico se propaga continuamente com a evaporação das águas dos oceanos e outros corpos d'água pela ação solar, produzindo assim massas de vapor que circulam pela atmosfera e podem, ao se condensar, transformar-se em diferentes tipos de precipitação: chuva, cristais de gelo e granizo, sobre os oceanos e os continentes. Ao precipitar, as águas da chuva podem ser interceptadas pela vegetação ou pelas diferentes superfícies das cidades e de áreas rurais. Nas vegetações, uma parte sofre evaporação e outra cai das folhas ou escoam pelos troncos até a superfície do solo. Estas superfícies definem, a partir do seu coeficiente *runoff*, quanto dessa água infiltrará para camadas inferiores do solo e quanto escoarão sobre a cobertura deste. As águas que infiltram chegam subterraneamente aos aquíferos por gravidade, e tendem a encontrar o canal de drenagem, como as águas que escoam na superfície, seguindo então até rios e o oceano, ou ainda, dissipa-se no solo. (VILLELA; MATTOS, 1975; LISBOA/UFSC, 2022; WILKEN, 1978).

As precipitações são diferenciadas quanto à sua intensidade e ao diâmetro das gotas de água que caem sobre as superfícies. Segundo Lima (2008), por exemplo, a garoa, é uma precipitação de baixa intensidade com gotas de diâmetro menor que 0,5 mm, e a chuva, consiste em uma precipitação de água com gotas de até 6 mm, com intensidades a partir de 2,5 mm.h<sup>-1</sup>.

A intensidade máxima média ( $i_m$ ) de um evento de precipitação, pode ser calculada por meio da Equação 1, que, segundo Martins (2017) deve-se considerar, para o cálculo, parâmetros de ajuste para chuvas intensas, os parâmetros de intensidade, duração e frequência da precipitação, de acordo com a localização da área de estudo. Estes parâmetros podem ser encontrados no programa Plúvio, disponibilizado no site do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) (GPRH; UFV, 2005).

$$i_m = \frac{K \cdot T^a}{(t + b)^c} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde,  
 $i_m$  = intensidade máxima média de precipitação com duração igual a  $t_c$ , em mm.h<sup>-1</sup>;  
 T = o período de retorno, em anos;  
 $t_c$  = duração da precipitação, em min (igual ao tempo de concentração);  
 K, a, b, e c = parâmetros de ajuste em relação à localização geográfica.

A duração da precipitação, na equação de chuvas intensas, toma o tempo de concentração como base, por consistir no momento estimado que toda a bacia é influenciada pelo mesmo evento de precipitação (TOMAZ, 2002). O tempo de concentração está diretamente ligado às características do curso d'água principal e a sua declividade média, sendo definido como o tempo que uma gota de chuva leva para percorrer, do ponto mais distante da bacia até encontrar a saída no exutório. Segundo Santos (2019):

Devido às não linearidades inerentes à geração de escoamento relacionada aos múltiplos estados hidrológicos, a determinação exata do tempo de concentração continua sendo um grande desafio. (MCDONNELL, 1990; MUÑOZ-VILLERS *et al.*, 2016, apud SANTOS, 2019, p. 90).

Existem diversos métodos que são utilizados para sua determinação, como por exemplo a Equação de Giandotti (Equação 2), que segundo Martins (2017) mostrou-se bem adequada ao estudo de pequenas bacias hidrográficas urbanizadas comparando dados de vazão in loco.

$$t_c = 0,0559 \cdot (4 \cdot A^{0,5} + 1,5 \cdot L) \cdot L^{-0,5} \cdot S^{-0,5} \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo,

$t_c$  = tempo de concentração, em horas;

$A$  = Área da bacia,  $\text{km}^2$ ;

$L$  = comprimento horizontal, desde a saída até o ponto mais afastado da bacia, km;

$S$  = declividade média da bacia, em  $\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$

A Equação 1, ainda necessita da definição do período de retorno que se deseja para o evento de precipitação pesquisada, o qual é definido pelas características do projeto de drenagem que se queira avaliar e pelo tipo de estudo. Para Tomaz (2012), o “período de retorno (T) é o período de tempo médio que um determinado evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez”. Segundo Hawkins (1993), o período de retorno pode ser considerado o tempo necessário e consistente à pesquisa.

A precipitação total (P) em mm, que corresponde a uma lâmina d'água de altura em mm, em uma área impermeável de  $1 \text{ m}^2$  (ou, 01 litro por metro quadrado), durante um evento de chuva intensa, a partir do cálculo da intensidade máxima média de precipitação ( $i_m$ ) em  $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ , pode ser calculada com a aplicação da Equação 3 (TOMAZ, 2012).

$$P = i_m \cdot t \quad \text{(Equação 3)}$$

Sendo,

P = precipitação total, em mm (= litros/m<sup>2</sup>);

i<sub>m</sub> = intensidade máxima média de precipitação, em mm.h<sup>-1</sup>

t = tempo, em horas.

Segundo Lima (2008), além das variáveis hidrológicas possivelmente estimadas e calculadas, nas águas inserem-se características qualitativas, de forma que sua presença vai de simplista a essencial, abundante e rara, de utilidade e “destrutiva”. Proporciona a mobilidade para ir e vir, atua na transformação do relevo, é agente de solubilidade universal (TEIXEIRA *et al.*, 2009), e regra a vida e ou a morte.

### 3.4 BACIAS DE DRENAGEM

As bacias hidrográficas são áreas de drenagem de águas que possuem seus delimitadores nos topos do relevo, chamados de divisores de águas (VILLELA; MATTOS, 1975; WILKEN, 1978), que separam bacias adjacentes (LIMA, 2008), de maneira que todo ponto na superfície dos continentes faz parte de uma bacia hidrográfica.

As bacias hidrográficas são classificadas de acordo com o local de sua descarga hídrica. Em exorreicas, quando o deflúvio total dos escoamentos é lançado no oceano, endorreicas, quando os escoamentos fluem para o interior do continente, e são lançados em um lago ou dissipam-se no solo. Há ainda as bacias arreicas, que não possuem uma estrutura bem definida, devido a evaporação e/ou infiltração, e as criptorreicas, que são subterrâneas (LIMA, 2008). Quanto ao sistema de drenagem, segundo Villela e Mattos (1975), as bacias podem possuir rios ou córregos perenes, que fluem permanentemente, recebendo água dos aquíferos, mesmo nos períodos secos, intermitentes, aqueles que possuem fluxo durante quase todo o tempo, mas secam em períodos de estiagem, e os canais efêmeros, que basicamente são canais que recebem os escoamentos somente quando há um evento de precipitação.

Assim, todos os canais de drenagem, confluem as águas para um local específico de sua saída, chamado exutório ou foz (LIMA, 2008). A grande parte dos exutórios desaguam os fluxos hídricos em outros rios, lagos e no oceano. Há pouquíssimos casos em que a bacia hidrográfica, chamada endorreica, direciona suas águas para o

interior do continente, ou para grandes lagos (TEIXEIRA *et al.*, 2009), como é o caso da bacia do rio Okavango, na África Austral (OKACOM, 2022).

As bacias hidrográficas possuem características físicas relevantes para se entender as variações do ciclo das águas em seus diferentes momentos a partir da precipitação (VILLELA; MATTOS, 1975). As dinâmicas de drenagem decorrentes de seus parâmetros morfométricos lineares, zonais e altimétricos (MAGALHÃES JÚNIOR; BARROS, 2020), originais ou modificados por ações antrópicas, como a quantidade, comprimento e nível de sinuosidade dos cursos d'água, a forma da bacia e suas dimensões geográficas de área de contribuição hídrica, e as variações altimétricas da nascente mais remota à sua foz, são essenciais para uma boa gestão dos recursos hídricos, de forma a manter as condições adequadas ao funcionamento ecossistêmico (TEODORO *et al.*, 2007), mediante às transformações por intervenções humana.

Quanto às características de permeabilidade e porosidade, bacias hidrográficas costeiras, que são encontradas ao longo da costa e sofrem influência direta marinha, possuem segundo Albuquerque e Souza (2015), redes de drenagem com baixa produção de escoamento superficial em áreas de baixos relevos (ARAÚJO; BEZERRA; SOUZA, 2007) que, conjugadas à dinâmica hidrossedimentar litorânea, tem a predisposição de formação de lagoas costeiras (LANZER; RAMOS; MARCHETT, 2013).

Segundo Teodoro *et al.* (2007), podemos definir as bacias hidrográficas como um sistema aberto, que recebe a entrada de água por meio da precipitação, e no decorrer dos caminhos da água na bacia, esta produz um deflúvio total, que pode ser medido ou estimado conforme se deseja as informações pertinentes, para o manejo, conservação, segurança e sustentabilidade das gerações humanas atuais, e as futuras (TONELLO, 2005).

O conhecimento dos elementos quali-quantitativos proporciona a comparação entre diferentes bacias, homogêneas ou não (ANTONELI; THOMAZ, 2007), e possibilita uma gestão conjunta desses elementos de forma à previsão de eventos e fenômenos que possam influenciar a maneira com que as comunidades instalam suas habitações e produzem seus bens necessários (COLLARES, 2000).

No Brasil há 12 grandes regiões hidrográficas que são formadas por áreas de drenagem menores que compõem o conjunto. A Lei nº 9433 de 1997, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), tem como delimitador de suas ações às bacias hidrográficas (COLLARES, 2000; BRASIL, 1997), de maneira a convergir as decisões para as regiões prioritárias devido à distribuição não igualitária das águas no território brasileiro. Por exemplo, segundo a ANA, a região hidrográfica amazônica tem uma disponibilidade hídrica de  $4161 \text{ km}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ , enquanto a região Atlântico Sudeste,  $100 \text{ km}^3$  anuais (ANA; ALMEIDA, 2016).

O modo como as comunidades se instalam nas bacias hidrográficas, ditará a qualidade de vida e o grau de desenvolvimento socioeconômico, com reflexos diretos na vida da população (LISBOA/UFSC, 2022). O caráter de ocupação precisa então ser regado com vista à sustentabilidade dos ambientes já ocupados (TEODORO *et al.*, 2007), e mesmo conscientizar da preservação de áreas naturais com pouca influência antrópica.

### 3.5 COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O volume de água precipitado em uma bacia hidrográfica pode ser interceptado por diferentes superfícies, e influenciado por fatores dessas interceptações, por variações temporais e espaciais (LISBOA/UFSC, 2022), resultando em conjunto para que parte deste volume seja escoado superficialmente, e outra parte seja armazenada em cavidades de diferentes dimensões, tendo desta forma, potencial para infiltrar no solo, proporcionando a recarga de aquíferos freáticos ou confinados. Basicamente pela relação entre o volume escoado e o volume precipitado em uma superfície qualquer, chegamos à Equação 4, que estabelece adimensionalmente o valor do coeficiente de escoamento superficial (C) (Pruski, 2003).

$$C = \frac{\text{Volume escoado superficialmente}}{\text{Volume total de precipitação}} \quad (\text{Equação 4})$$

O coeficiente de escoamento superficial, ou coeficiente “*runoff*”, ou coeficiente de deflúvio (LISBOA/UFSC, 2022), é um coeficiente volumétrico que varia de 0 a 1, de forma que 0 representa uma superfície totalmente permeável não proporcionando

escoamentos, e 1, uma superfície impermeável com escoamento total no plano estudado (MELLO; SILVA, apud MARTINS, 2017, p.12). O coeficiente C foi determinado, para diferentes superfícies em consideração ao nível de permeabilidade (WILKEN, 1978), por diferentes pesquisadores e instituições, dentre os quais a *American Society of Civil Engineers* (ASCE) que atua em território americano desde 1852, com pesquisas técnicas relevantes e inovações tecnológicas, Fruhling, que propôs o critério de adoção de C variando entre 0,05 e 0,95 (WILKEN, 1978), e o *United States Department of Agriculture* (USDA), que atua como a principal referência em conservação de solos no mundo, com atuação em diversos países.

As tabelas de coeficiente de escoamento superficial mais utilizadas (TUCCI, 2000) são da ASCE (Tabela 1), de Fruhling, utilizada pela Prefeitura de São Paulo, Brasil (Tabela 2), e do USDA (Tabela 3) como proposto por Williams, Fruhling e o USDA (apud PRUSKI, 2003, p. 17,18), mais usualmente empregadas hoje por engenheiros e hidrólogos.

Tabela 1 — Valores definidos para C pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE).

(continua)

Superfície		C	
		Intervalo	Valor esperado
Pavimento	Asfalto	0,70 - 0,95	0,83
	Concreto	0,80 - 0,95	0,88
	Calçadas	0,75 - 0,85	0,80
	Telhado	0,75 - 0,95	0,85
Cobertura: Grama em solo arenoso	Plano (2%)	0,05 - 0,10	0,08
	Declividade média (2 a 7%)	0,10 - 0,15	0,13
	Declividade alta (7%)	0,15 - 0,20	0,18
Cobertura: Grama	Plano (2%)	0,13 - 0,17	0,15

Superfície		C	
		Intervalo	Valor esperado
em solo argiloso	Declividade média (2 a 7%)	0,18 - 0,22	0,20
	Declividade alta (7%)	0,25 - 0,35	0,30

(conclusa)

Fonte: (UFRRJ/Pós-graduação, 2022, p. 8-9)

Tabela 2 — Valores de C usados pela Prefeitura de São Paulo, pelo critério de Fruhling.

(continua)

Zonas	C
Edificação muito densa: Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas.	0,70 - 0,95
Edificações não muito densa: Partes adjacentes ao centro, de menos densidade de habitantes, mas com ruas e calçadas pavimentadas.	0,60 - 0,70
Edificações com poucas superfícies livres: Partes residenciais com construções cercadas, ruas pavimentadas.	0,50 - 0,60
Edificações com muitas superfícies livres: Partes residenciais, com ruas macadamizadas ou pavimentadas.	0,25 - 0,50
Subúrbios com alguma edificação: Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção.	0,10 - 0,25
Matas, parques e campo de esportes: Partes rurais, áreas verdes, superfícies	0,05 - 0,20

arborizadas, parques ajardinados,  
campos de esporte sem pavimento.

(conclusa)

Fonte: Apostila de Pós-graduação UFRRJ (UFRRJ, 2022, p. 9)

Tabela 3 — Valores definidos para o Coeficiente de Escoamento Superficial pelo USDA.

Tipo de cobertura do solo	Declividade (%)	Textura do solo		
		Arenosa	Franca	Argilosa
Florestas	0 - 5	0,10	0,30	0,40
	5 - 10	0,25	0,35	0,50
	10 - 30	0,30	0,50	0,60
Pastagens	0 - 5	0,10	0,30	0,40
	5 - 10	0,15	0,35	0,55
	10 - 30	0,20	0,40	0,60
Terras cultivadas	0 - 5	0,30	0,50	0,60
	5 - 10	0,40	0,60	0,70
	10 - 30	0,50	0,70	0,80

Fonte: (UFRRJ/Pós-graduação, 2022, p. 10)

Como podemos constatar nas tabelas de coeficientes de escoamento superficial, há diferentes valores que variam quanto à cobertura da superfície, à declividade e ao tipo do solo existente na área de interesse. Para a determinação do C médio em uma bacia hidrográfica é necessário portanto, a consideração destas variáveis e se estabelecer a média ponderada a partir das diferentes características quali-quantitativas encontradas na área e relacionadas nas tabelas. Para tanto, é mister a utilização da Equação 5, abaixo:

$$C_{\text{médio}} = \frac{\sum C_i A_i}{A_{\text{total}}} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde,

$C_i$  = coeficiente de escoamento superficial da área de interesse, adimensional,  
 $A_i$  = área de interesse.

O coeficiente de escoamento superficial é a referência mais importante a considerar em cálculos hidrológicos de uma área de concentração hídrica, de forma a incorporar todas as perdas na aplicação do Método Racional (TOMAZ, 2002), para a quantificação do escoamento superficial total em um evento de precipitação intensa dada uma duração de tempo qualquer, de acordo com o projeto ou pesquisa desenvolvida (LISBOA/UFSC, 2022).

### 3.6 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Todo tipo de precipitação que adentra uma bacia, seja na forma líquida ou sólida (LIMA, 2008), tem o potencial de transformar-se em escoamento, que segundo Hornberger *et al.* (1998 apud SANTOS, 2001, p. 13), pode configurar-se em quatro tipos: escoamento direto nos canais de drenagem, escoamento superficial, subsuperficial e escoamento subterrâneo ou de base. O escoamento superficial é a parcela da água da chuva, que escoam sobre as diferentes superfícies com base na sua permeabilidade, sendo influenciado pela taxa e capacidade de infiltração do solo exposto ou coberto (LIMA, 2008). Para Carvalho, Mello e Silva (2007), o trabalho da bacia é:

“A resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica é transformar uma entrada de volume concentrada no tempo (precipitação) em uma saída de água (escoamento) de forma mais distribuída no tempo” (CARVALHO; MELLO; SILVA, 2007).

Segundo Belmonte e Beltrán (2001), em estudo realizado em bacias hidrográficas em zonas semi-áridas e do mediterrâneo na Espanha, relataram que o escoamento superficial em canais de drenagem efêmeros, que possuem extratos de calcários cársticos, tendem a ser menor devido a potencial capacidade de infiltração,

significando assim grandes quantidades de precipitação para se alcançar a saturação do solo. Já em solos com texturas mais finas, o escoamento superficial se apresenta com maior potencial.

Moura (2018), investigou solos arenosos e argilosos no semiárido do Estado de Pernambuco, e constatou que o grau de repelência à água, ou hidrofobicidade do solo, em Latossolos Amarelos, na medição do tempo de penetração da gota de água (TPGA), foi maior que em um neossolo regolítico, o que pode resultar em aumento do escoamento superficial.

As bacias hidrográficas com altos processos de impermeabilização e compactação de solos, produzirão grandes escoamentos, ao concentrarem suas águas de forma abrupta com direção à saída dos fluxos, a qual tende a aumentar, quanto maior for a área da bacia.

Em locais com pouco ou nenhum monitoramento fluviométrico, onde se necessita estimar a vazão em uma seção de rio, córrego ou canal de drenagem (LIMA, 2008), é possível realizar uma estimativa de maneira coerente por meio do método Racional, que segundo Martins (2017), foi apresentado em 1851 por Mulvaney, um engenheiro irlandês.

Tomaz (2002) enfatiza que o método Racional foi estabelecido por meio da suposição que, um evento de precipitação ocorra uniformemente em toda a área da bacia e num tempo em que toda a bacia contribua para o escoamento superficial. Ainda, que bacias com pouca dimensão, até 3 km<sup>2</sup>, proporcionam resultados mais precisos para a vazão (TOMAZ, 2002).

Lima (2008) expressa o método Racional como uma fórmula empírica capaz de relacionar um evento de precipitação à vazão máxima consequente, e cita Chang (1982):

O método racional assume que o pico de vazão é produzido por uma dada chuva que se mantém com duração igual ou maior do que o tempo de concentração da bacia hidrográfica. Isto sugere que a equação é válida principalmente para microbacias com área inferior a 10 km<sup>2</sup>. (CHANG, 1982, apud LIMA, 2008, p. 187)

O cálculo para estimativa da vazão máxima em um evento de precipitação, pode ser obtido por meio do Equação 6, o método Racional.

$$Q_{\max} = \frac{C \cdot i_m \cdot A}{360} \quad (\text{em, m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (\text{Equação 6})$$

Onde,

$Q_{\max}$  = pico de vazão em  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;

C = coeficiente de escoamento superficial, adimensional;

$i_m$  = intensidade máxima média da precipitação, em  $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ;

A = área da bacia de drenagem, em hectares;

360, serve para parametrizar as unidades.

### 3.7 INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

Durante um evento de precipitação, uma parcela da água da chuva que cai sobre o solo e superfícies que o cobrem, tendem a se infiltrar no solo. A infiltração da água no solo consiste no deslocamento vertical da água, influenciada pela ação da gravidade, por entre os espaços vazios adjacentes às partículas do solo (LISBOA/UFSC, 2022).

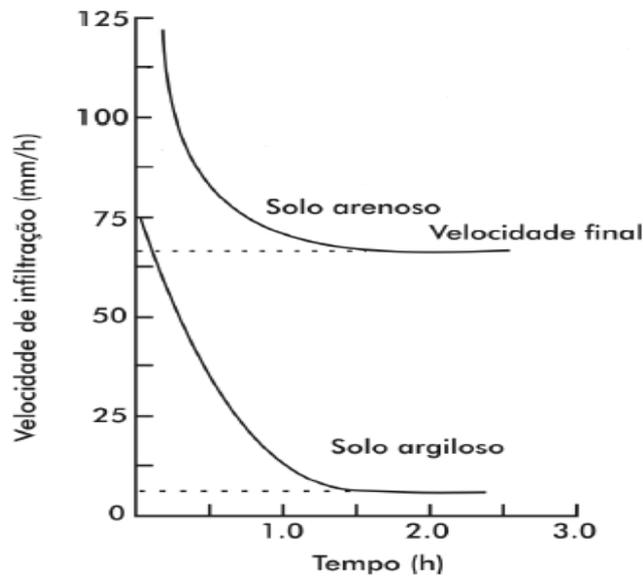
A capacidade de infiltração de água no solo é uma propriedade do mesmo, e está diretamente ligada ao tipo de solo, de maneira que o potencial de infiltração de água é a quantidade possível para infiltrar no solo (COUTO, 2022; CARVALHO, 2006).

A quantidade de água que tem potencial de infiltrar no solo, depende de diversos fatores que influem para o momento de infiltração. Dentre estes, se pode destacar:

- Condições de permeabilidade da superfície. Quanto mais impermeável seja o material ou composto, sobre o solo, menor será a quantidade de água infiltrada, devido o maior coeficiente de escoamento superficial;
- Classes de solo. As diferentes classes de solo encontradas na Terra, tem diferentes texturas, sendo a variação granulométrica, determinante à porosidade, compondo assim solos com diferentes velocidades de infiltração de água (Gráfico 1), podendo variar de  $0,6 \text{ cm} \cdot \text{h}^{-1}$  (com 25% de macroporos e 35% de microporos) a  $32 \text{ cm} \cdot \text{h}^{-1}$  (com 10% de macroporos e 40% de microporos), segundo Lisboa (2022); ainda, segundo Lima (2008), durante um evento de precipitação, a desagregação de partículas do solo, podem se rearranjar, reduzindo a porosidade do mesmo, sendo este processo mais

- frequente em solos argilosos, devido a presença de material coloidal, e menos frequente em solos arenosos, que contém partículas mais estáveis;
- Umidade inicial. A umidade em que se encontra o solo no início de um evento de precipitação, determina quanto de água infiltrará no mesmo durante o período (LISBOA/UFSC, 2022), sendo a saturação do solo um limitante da taxa de infiltração, que se mantém constante em níveis menores mesmo após saturado (Ver Gráfico 2);
  - Compactação do solo. O tráfego de veículos, maquinários, circulação de grande número de pessoas e animais, corrobora o processo de compactação do solo, agregando suas partículas, dificultando assim a infiltração (CARVALHO; MELLO; SILVA, 2007). Mesmo as gotas de chuva, que podem chegar a até 6 mm de diâmetro, podem compactar solos expostos nas cidades e nas zonas rurais;
  - Cobertura vegetal. Solos que têm mantido suas coberturas naturais e/ou com vegetação em processo de regeneração, tendem a possibilitar melhor infiltração da água devido suas estruturas agregadas estarem preservadas (LIMA, 2008), a presença radicular das raízes e canais originados por ação biológica, de forma que, quanto maior for a cobertura vegetal do solo, maior será a infiltração (LISBOA/UFSC, 2022);
  - Temperatura. Segundo Lisboa (2022), a infiltração é maior tanto quanto for maior a temperatura da água, devido o escoamento superficial ser laminar;
  - Carga hidráulica. A espessura da lâmina d'água sobre o solo define o potencial de pressão propriamente dito, ou, carga hidráulica ( $\Psi_p$ ) sobre a superfície, e a infiltração da água será maior, quanto maior sê-la-á (LIMA, 2008; CARVALHO; MELLO; SILVA, 2007).

Gráfico 1 — Variação da taxa de infiltração



Fonte: LISBOA, Henrique de Melo. Dep. de Engenharia, UFSC (2022)  
 Nota: Adaptado pelo autor.

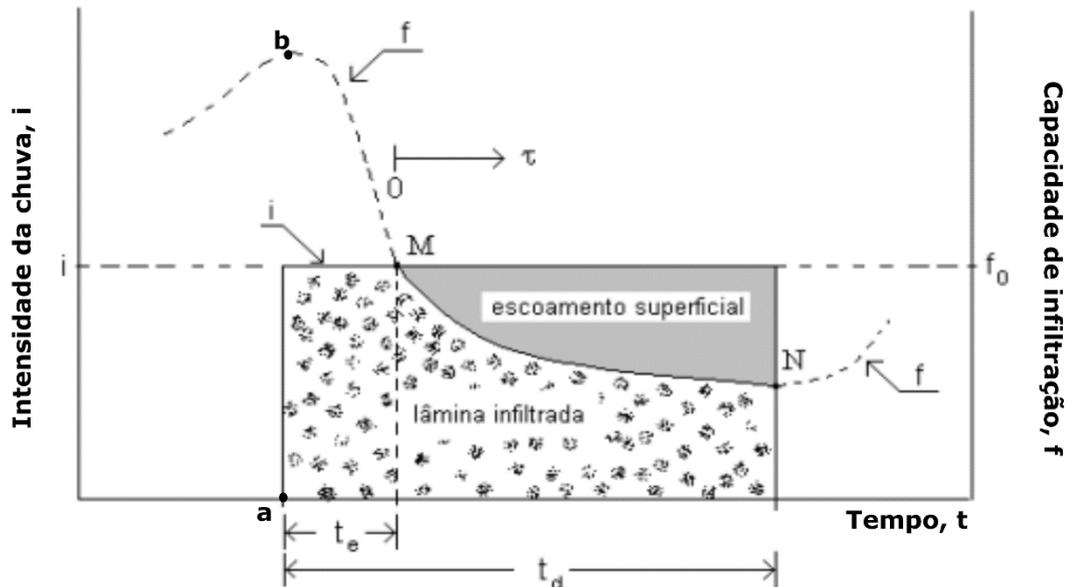
Segundo Lisboa (2022), solos arenosos tendem a possuir uma taxa de infiltração inicial maior que de solos argilosos, e, com a continuidade da precipitação, a taxa de infiltração constante é superior em solos arenosos, após saturação, sendo desta forma, maior em capacidade de movimento da água por entre os poros do solo.

Na relação da taxa de infiltração e da intensidade de precipitação, em solos influenciados por precipitações maiores que sua capacidade de infiltração, estes entrarão em saturação mais rápido, quanto mais intensa for a chuva, surgindo então o escoamento superficial (HORTON, 1933, apud MOTA, 2012, p.34).

O Gráfico 2, demonstra a dinâmica do processo de infiltração da água no solo, com relação às variáveis de intensidade da chuva, capacidade de infiltração, tempo e escoamento superficial. Segundo Couto (2022) e Carvalho e Silva (2006), com uma intensidade de precipitação constante ( $i$ ) sobre um determinado solo, o evento de chuva inicia no ponto "a" do tempo, e encontra uma capacidade de infiltração ( $f$ ), máxima em "b". Com a precipitação, inicia-se a infiltração, e os poros do solo tendem a ser preenchidos por água, reduzindo gradativamente  $f$ , até no ponto M, quando esta iguala-se a  $i$ . No momento que  $f = i$ , todos os poros do solo estão preenchidos, e o escoamento superficial se inicia sobre a superfície. Contudo, a capacidade de

infiltração ainda continua a reduzir, sem que chegue a zero, e mantém-se praticamente constante, sendo considerada, no ponto N, a capacidade de infiltração mínima. Isto acontece devido as camadas mais profundas do solo, continuarem a receber água por percolação profunda, abastecendo assim os aquíferos, que recebem a água pelo efeito gravitacional (COUTO, 2022; CARVALHO; SILVA, 2006).

Gráfico 2 — Variação da capacidade de infiltração no tempo.



Fonte: Couto (2022).

Nota: Aperfeiçoado pelo autor.

A teoria das relações do Gráfico 2 apresentado por Couto (2022), são calculadas por meio do Método de Horton para o cálculo da capacidade de infiltração ( $f$ ). Porém, o conceito de Horton não se aplica bem em áreas com maiores coberturas vegetais, tendo surgido outras teorias mais adequadas (MOTA, 2012; SIEFERT; SANTOS, 2012). Para Germano (1997) e Tucci (2007, apud MARTINS, 2017, p.5), quando a precipitação, encontra as superfícies impermeabilizadas por ações antrópicas, o escoamento superficial tende a ser maior, tanto quanto maior for a impermeabilidade da superfície, reduzindo drasticamente a infiltração.

A distribuição do volume precipitado, em um período maior que o do evento de precipitação, pode ser obtido com a retenção de volumes em reservas hídricas por influência antrópica e por infiltração da água no solo (MARTINS, 2017). A infiltração caracteriza-se como a melhor alternativa, pois o volume de água sofrerá menos impacto de agentes exteriores, recarregará aquíferos elevando o lençol freático, e a água permanecerá por mais tempo retida nos solos (TEIXEIRA *et al.*, 2009).

### 3.8 ESCOAMENTO SUBSUPERFICIAL E SUBTERRÂNEO

A água ao adentrar o solo por infiltração em decorrência gravitacional, vencendo forças de adesão devido à carga hidráulica resultante de um evento de precipitação (LIMA, 2008; CARVALHO; MELLO; SILVA, 2007), podem originar o escoamento subsuperficial e o escoamento subterrâneo, ou de base.

O escoamento subsuperficial caracteriza-se por ser um escoamento difícil de se constatar, e ocorre mais em áreas de encostas (SANTOS, 2001) e climas úmidos com boa cobertura vegetal. Geralmente está condicionado a períodos de chuvas intensas para sua aparição. Também denominado de *interflow*, pode ser a causa de alagamento em determinados pontos de uma região, devido a fluxos efêmeros que podem ser rápidos e conduzir assim grandes quantidades de água (PAIVA, 2020).

O escoamento subsuperficial percorrerá verticalmente ou, de forma mais efetiva, lateralmente (BOVI, 2017; LIMA, 2008), as camadas mais superiores do solo, por entre macroporos e canais produzidos pelas raízes das plantas, ou sobre camadas de rochas impermeáveis e suas possíveis fraturas, ou ainda por canais biologicamente construídos por invertebrados e outros animais (PAIVA, 2020).

A presença de escoamento subsuperficial, também pode ocorrer em plintossolos nas áreas inferiores de encostas (EMBRAPA; ZARONI; SANTOS, 2021). Escoamentos subsuperficiais, assim, podem estar associados, segundo Bovi (2017), ao surgimento de *pipes*, e estes podem evoluir para voçorocas e voçorocas efêmeras, que consistem em “pontos de erosão desconectados da voçoroca principal”, em um processo de erosão constante e desagregador do solo. Da mesma forma, Marchioro, Andrade e Oliveira (2016), condicionam a gênese de *pipes* a escoamentos subsuperficiais que carreiam de colóides a partículas maiores de solo.

O escoamento subterrâneo ou de base, é o escoamento decorrente e mantido por águas que sofreram percolação profunda, e armazenam-se no subsolo durante o período chuvoso do ano hidrológico, depositando-se em aquíferos (PORTO, 1999), realizando assim sua recarga e compondo a zona saturada.

Segundo Paiva (PAIVA, 2020), a zona de saturação está diretamente ligada à geologia, quando presente em rochas porosas ou fraturadas, ditando por meio de suas

características, a velocidade do fluxo de base até os canais e corpos hídricos exteriores. Esta zona saturada pode estar presente também em solos profundamente localizados, e a composição granulométrica do subsolo estabelecerá a velocidade dos fluxos subterrâneos (PAIVA, 2020).

A principal importância do escoamento subterrâneo, ou de base, é manter a vazão de rios, córregos e lagoas, por meio da recarga durante os períodos de estiagens (PORTO, 1999).

Segundo Santos (2019), a dinâmica do tempo de residência, tempo médio que a água permanece na bacia hidrográfica, está relacionado a topografia e a profundidade do solo, estudadas para a completa ciência dos padrões de armazenamento e fluxo da água. Ainda, Santos cita o trabalho de Adji *et al.* (2017) e Egusa *et al.* (2016), que relacionaram o escoamento de base com condições secas e úmidas:

Há uma diferença no escoamento de base entre condições secas e úmidas. O trabalho de Adji *et al.* (2017) mostrou que em estações mais secas as propriedades químicas da água apontam uma interação mais intensa entre água e rochas. Relacionando com o modelo conceitual de Egusa *et al.* (2016), poderíamos atribuir uma maior contribuição da água proveniente diretamente do lençol freático. (ADJI *et al.*, 2017; EGUSA *et al.*, 2016, apud SANTOS, 2019, p. 36)

A velocidade do escoamento de base é baixa (LISBOA/UFSC, 2022), e, ao cessar as precipitações e o escoamento superficial sobre as bacias hidrográficas, são as águas do escoamento de base que mantêm os rios e córregos fluindo, e lagoas com níveis ecologicamente adequados à preservação ecossistêmica (DOYLE *et al.*, 2005 apud SANTOS, 2019, p. 21).

### 3.9 MANUTENÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

O conjunto das diferentes partículas agrupadas em um solo determinam sua porosidade. A porosidade encontrada no solo depende das características do mesmo, e estão diretamente ligadas a composição granulométrica, definindo assim sua textura. Em solos arenosos a porosidade representa de 0,37% a 0,50% e solos argilosos, de 0,43% a 0,52%, do volume total (PAIVA, 2020). Nos macroporos e microporos dos solos é possível encontrar água e ar.

Segundo Paiva (2020), a zona não saturada do solo, também chamada de zona vadosa, normalmente é preenchida por ar em seus vazios, mas pode por meio de precipitação e infiltração, intensas e de longa duração, ser preenchida com água, tornando-se assim saturada temporariamente, em uma situação que a água ocupa todos os vazios do solo.

Segundo Gomes, Trolles e Nascimento (2004), métodos de recarga artificial de aquíferos têm sido estudados e implementados de forma a manter o nível das áreas saturadas. Dentre estes, destaca-se planos de infiltração, bacias de infiltração, pavimentos porosos, poços absorventes e trincheiras de infiltração, que podem reduzir o escoamento superficial permitindo a infiltração por meio da contenção da água da chuva. Em bacias hidrográficas costeiras, a recarga do aquífero permitiria, ainda, manter a cunha salina a distância subterrânea segura dos mananciais de água doce (SILVA *et al.*, 2004). As desvantagens consistem no grande potencial de contaminação que as águas urbanas podem carrear.

No aquífero Cabo, em Recife, Pernambuco, Silva *et al.* (2004), realizaram estudo avaliativo da recarga artificial do aquífero, por meio de poços de injeção de águas de chuva, sob inspeções de qualidade, com intuito de controlar a salinidade e subsidência de solos, tendo os resultados mostrados viáveis à recuperação dos níveis potenciométricos.

A gestão da recarga de aquíferos pode ser uma forma eficaz de resolver problemas relacionados com a disponibilidade e qualidade da água (UAlg, 2022), em bacias hidrográficas impermeabilizadas por ações antrópicas.

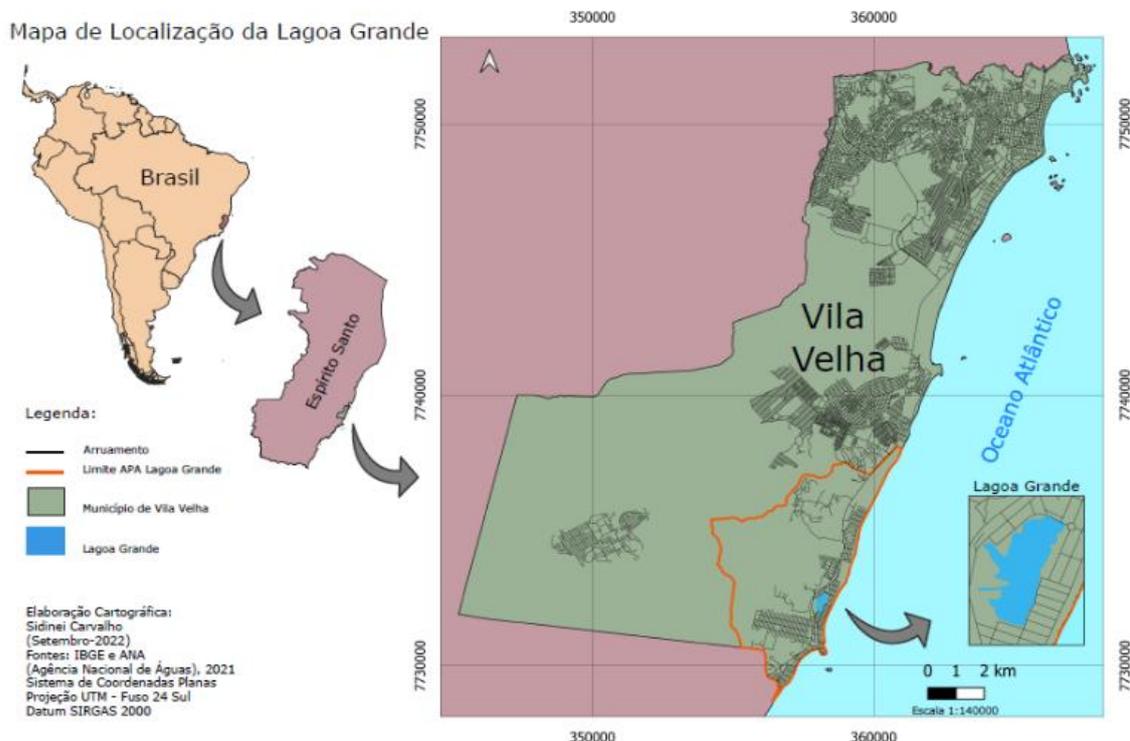
## 4 ÁREA DE ESTUDO

Dada às pequenas dimensões da área de estudo, buscou-se um processo adequado de caracterização da bacia hidrográfica costeira da Lagoa Grande, de sua área de drenagem e de seus corpos de água superficiais.

### 4.1 CENÁRIO POLÍTICO-ADMINISTRATIVO

Quanto ao cenário político-administrativo, a área da bacia de contribuição da Lagoa Grande está localizada no Município de Vila Velha, Estado do Espírito Santo, a 20 km da sede da capital e a 17 km da Prefeitura do município, integrando as Regiões V e VI, segundo a nova proposta de divisão administrativa do município (PVV, 2022), tendo como limite comum a Rodovia do Sol (ES-060).

Mapa 1 — Localização da Lagoa Grande



Fonte: Elaboração do autor (CARVALHO, 2022). <[Original disponível](#)>

Identificamos por meio de pesquisa bibliográfica, relações político-administrativas em esfera local por meio dos canais de comunicação da Prefeitura de Vila Velha, e no âmbito estadual, informações veiculadas pelo Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN) e pela Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH), o que subsidiou

observações e análises mais generalizadas do local de pesquisa. Mais especificamente, de forma a ajuizarmo-nos das ações em pauta, participamos de forma remota das reuniões do Conselho Diretor da APA Lagoa Grande de modo a verificar as dinâmicas deliberativas e de gestão.

A Lagoa Grande foi decretada como Área de Proteção Permanente (APP) pelo Decreto nº 138 de 1995, tendo seu entorno constituído como áreas “não edificantes” (VILA VELHA, 2006). Em 07 de junho de 2006, a Prefeitura de Vila Velha criou por meio do Decreto nº 46, a Área de Proteção Ambiental da Lagoa Grande (APA-LG), no intuito de “ampliar” as ações de conservação ambiental da Lagoa Grande, em meio a responsabilidade jurídica de um processo quanto à acusação de “omissão estatal” “no exercício do seu dever de fiscalização de maneira a coibir as diversas ocupações irregulares realizadas no entorno da Lagoa Grande” (STF, Ementa apelações cíveis nº 0107399-23.2000.8.08.0024, item 11). Como resultado, julgou-se então, que os danos ambientais fossem tratados pelas regras de recuperação do Plano de Manejo da APA-LG desde então, que pauta o uso sustentável da região (VISÃO AMBIENTAL, 2014) seguindo as diretrizes com base no Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), que declara em seu Artigo 15, as APAs com “objetivos básicos [de] proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais” (SNUC, 2000), e não pela Legislação pertinente às APPs, que tem foco na preservação dos rios e córregos, para o cuidado com a fauna e flora segundo o Código Florestal (Brasil, 2012).

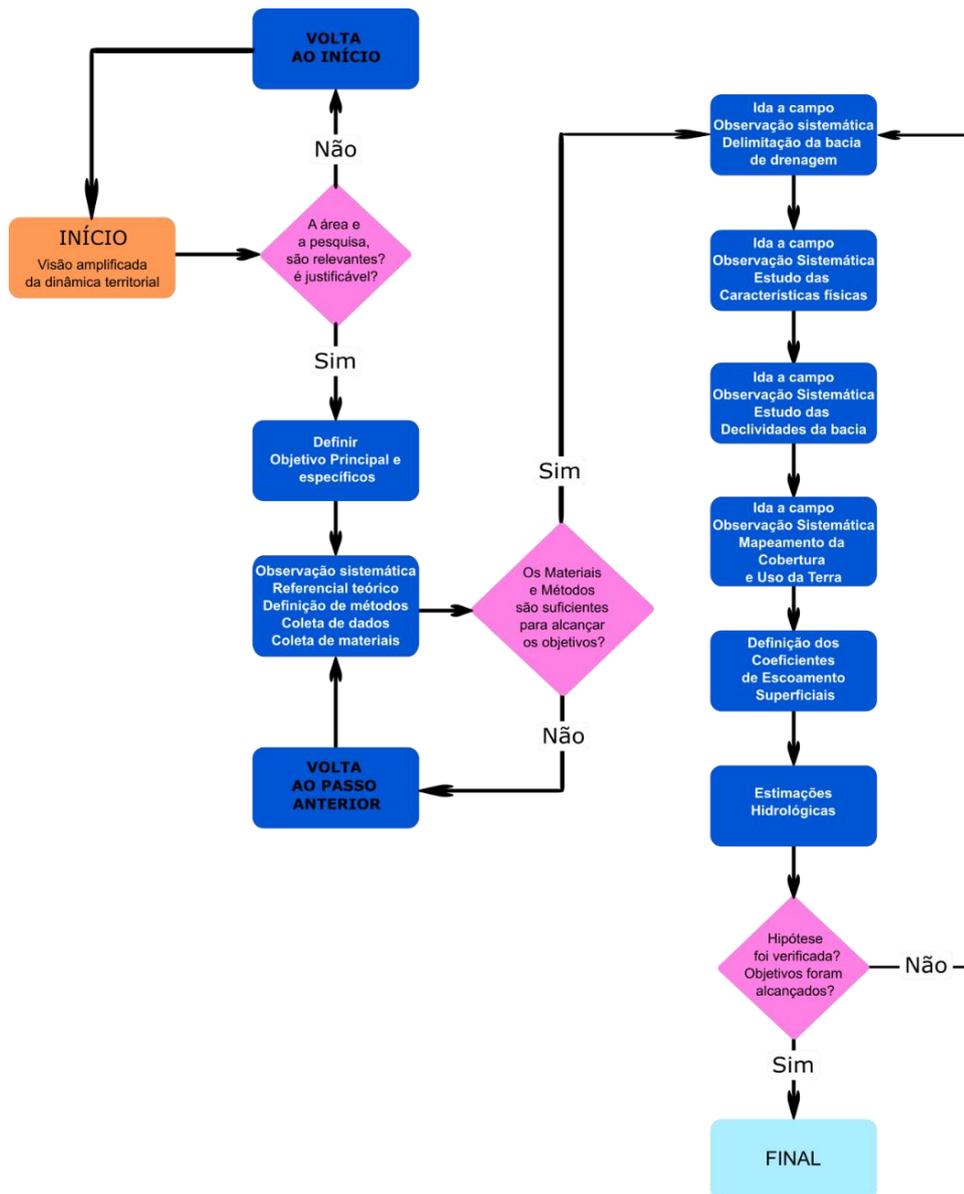
Quanto às políticas de recursos hídricos estaduais, a relevante inexpressibilidade conferida a este pequeno, mas complexo sistema ambiental, ficou evidenciada na página da Agência Estadual de Recursos Hídricos no Plano de Recursos Hídricos (PRH) da Bacia Hidrográfica do rio Jucu (AGERH, 2022), na qual a área deste estudo está inserida: em 2896 páginas de documentos pesquisados, a “Lagoa Grande” é citada por 02 vezes, em uma brevíssima citação à sua biota e outra, por um anônimo gestor da Prefeitura de Vila Velha (PVV), que menciona a existência da Lagoa Grande.

Desta forma, utilizamos metodologias específicas para uma abordagem precisa dos atributos da bacia hidrográfica costeira da Lagoa Grande.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

O fluxograma abaixo demonstra as etapas desta pesquisa, e, como foi desenvolvida, de modo à verificação da hipótese e alcance dos objetivos estabelecidos.

Figura 1 — Fluxograma do processo de pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor.

A área de contribuição hídrica da Lagoa Grande, basicamente, é mencionada no Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental da Lagoa Grande (APA-LG), que a cita

como “bacia de contribuição da Lagoa Grande” por 02 vezes, porém, não apresenta a delimitação para a mesma.

## 5.1 DELIMITAÇÃO DA BACIA DE DRENAGEM

Realizamos a delimitação da área de contribuição hídrica da Lagoa Grande por meio de estudo pioneiro, com dois processos, um de forma automática, puramente com uso de programas informatizados de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e, outro de forma manual, em campo, com a coleta dos pontos de coordenadas nos topos dos divisores de águas, de maneira detalhada e mais precisa possível, inclusive com análise de registros fotográficos.

### 5.1.1 Delimitação automática

Desta forma, para a delimitação automática, optamos pelo uso do Modelo Digital de Elevação (MDE) do tipo Modelo Digital de Terreno (MDT) disponibilizado pela *European Space Agency* (ESA), a partir da parceria com a missão TanDEM-X (SPAMLab IEE-USP, 2021), por meio de registro e aceitação de termos de uso voltados à pesquisa com *Copernicus Space Components Data Access* (CSCDA), Copernicus (2022), de sorte a potencializar este estudo para uma visibilidade global.

Efetuada o registro no site, realizamos o *download* do arquivo MDE com resolução altimétrica de 30 m, do tipo *Defense Gridded Elevation Data* (DGED) que possui valores em decimais (*float*) registrados em seus *pixels*, sendo assim superiores em retratar as altitudes do terreno, em comparação aos arquivos *Digital Terrain Elevation Data* (DTED) que registra as altitudes nos *pixels* em valores inteiros (*int*) (SPAMLab IEE-USP, 2021).

Em continuidade adotamos a metodologia aplicada por Siguel (2021) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), e, carregamos um arquivo *shapefile* com os limites do município de Vila Velha, adquirido do site Geobases, disponibilizado com o datum para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000 (SIRGAS2000) em projeção *Universal Transverse Mercator* (UTM) em metros para a Zona 24 Sul, e inserimos no programa *Quantum Geographical Information System*

(QGIS), versão 3.26 Buenos Aires, livre e de código aberto, sendo assim configurado o novo projeto para o código *European Petroleum Survey Group* (EPSG) 31984.

Em seguida carregamos o arquivo *raster* MDE Copernicus e redefinimos a sua projeção para SIRGAS 2000 (EPSG 4674), e posteriormente reprojetoamos para o sistema de coordenadas planas UTM, para a zona 24S (EPSG 31984) em metros, arquivo que salvamos para uma nova camada raster.

Feito isso, abrimos um novo projeto no QGIS (SIGUEL, 2021) e carregamos o arquivo vetorial *shapefile* correspondente ao limite do município de Vila Velha e o arquivo *raster* Copernicus DEM reprojetoado. Recortamos a camada raster com a utilização da camada limite de Vila Velha como máscara, de forma ao nível de processamento pelo algoritmo do programa ser mais rápido para as próximas operações com o programa GRASS GIS 7.8.7 incorporado ao QGIS 3.26.

A primeira ferramenta da caixa utilizada foi o *r.fill.dir* que “Filtra e gera uma camada de elevação sem depressão e uma camada de direção de fluxo [...]” (QGIS 3.26, 2022) preenchendo assim depressões na camada *raster*. Após, utilizamos a camada *raster* gerada, com a ferramenta *r.watershed* que é habilitada para a análise de bacias hidrográficas (QGIS 3.26, 2022), e com o uso desta ferramenta produzimos dois novos *raster*, de direção de drenagem e de segmento de fluxo.

Em sequência procedemos à geração das curvas de níveis do relevo, necessárias para gerar a delimitação da bacia, e trabalhamos o *raster* Copernicus DEM recortado, com o procedimento do QGIS para extrair contornos, tendo optado por curvas de níveis de 01 metro, devido à baixa variação altimétrica da área próxima à Lagoa Grande.

A ferramenta do GRASS GIS para a obtenção dos limites da bacia foi a *r.water.outlet*, que “cria a bacia hidrográfica” (QGIS 3.26, 2022), e foi aplicada no raster de direção de drenagem, sendo definido como exutório, para gerar os limites da bacia, o local definido automaticamente para o final dos segmentos de fluxo pelo algoritmo do programa GRASS GIS, que se encontra nas coordenadas UTM 24S / 358736 / 7732864, de forma que a delimitação automática foi gerada com êxito.

Convertemos o arquivo raster gerado pelo GRASS GIS para um arquivo vetorial por meio da ferramenta *r.to.vect*, o que nos possibilitou realizar a suavização da geometria

pelo acréscimo de vértices e cantos no contorno do vetor polígono de limite da Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande (QGIS 3.26, 2022).

### 5.1.2 Delimitação manual

Para a delimitação manual da área de contribuição da Lagoa Grande, utilizamos um aparelho receptor dos sinais dos satélites do *Global Positioning System* (GPS) da marca Garmin, modelo ETrex H Essentials (Figura 2), com precisão de 3 metros em 95% do tempo, corrigidas por antena *Differential* GPS (WAAS) segundo o Manual do proprietário (GARMIN, 2007), sendo configurado para o Sistema Métrico (SI) para obtenção das coordenadas planas UTM, de forma a adequação com os arquivos já trabalhados em UTM Zona 24 Sul.

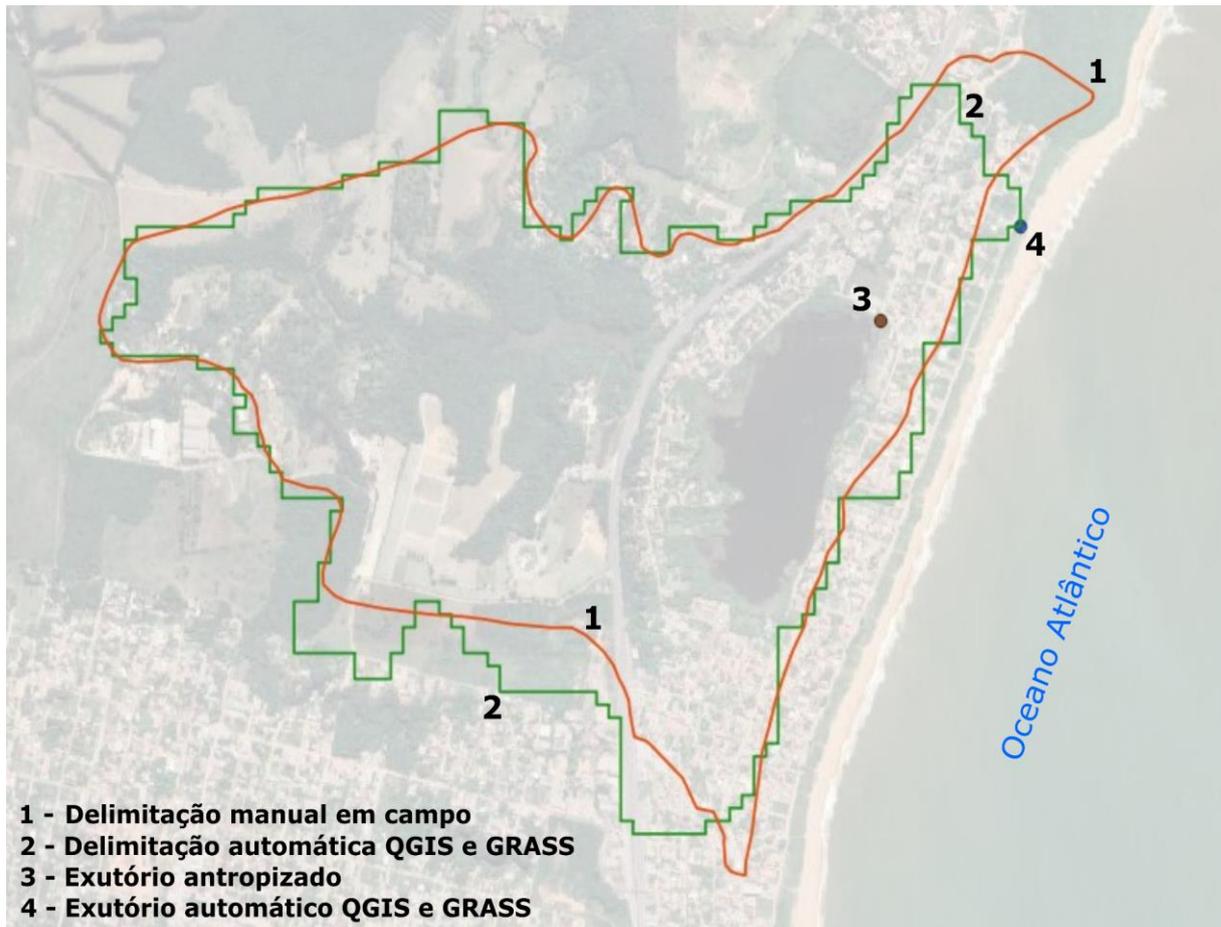
Figura 2 — Aparelho receptor GPS da marca Garmin.



Fonte: Elaboração do autor. <[Original disponível](#)>

Foram coletados 57 pontos de coordenadas planas no dia 30, do mês de setembro do ano 2022, tomando como método a visualização *in situ*, nos principais divisores altimétricos de águas, constatados anteriormente em quatro idas a campo na área de estudo, bem como por análises das altimetrias topográficas por meio do programa Google Earth Pro. Produzimos uma planilha em Excel do tipo com valores separados por vírgulas (.csv), com todas as coordenadas obtidas em campo, para inserção no QGIS, de forma a produzir um arquivo *shapefile* com os pontos coletados, e possibilitar o traçamento e produção do arquivo tipo polígono, do limite da área de contribuição hídrica da Lagoa Grande.

Figura 3 — Produtos da delimitação automática e manual em campo.



Fonte: Elaboração do autor. <[Original disponível](#)>

Com os processos de delimitação automática no QGIS e GRASS GIS e manual com coleta de pontos nos topos dos divisores de águas, foi possível gerar os produtos da Figura 3, tendo estes sido reavaliados com nova ida a campo e avaliação das variáveis, gerando assim um produto reverificado da delimitação da Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande.

## 5.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

As características físicas foram obtidas por meio de revisão bibliográfica, e, quanto às formações geológicas presentes na bacia costeira da Lagoa Grande (Quadro 1), descritas na literatura (VISÃO AMBIENTAL, 2014), apresenta três formações evidenciadas, que, de acordo com a análise realizada do mapa geológico de 2018 do Espírito Santo, disponibilizado pela CPRM (2018), na escala 1:400.000, em sua base, é composta por rochas sedimentares com sequência de paragneisses (SILVA/CPRM,

2014), destacando que não há evidências de Falhas e/ou Zonas de cisalhamentos aparentes na área de estudo na escala apresentada. Bem como, em campo, constatamos a ausência de afloramentos rochosos nos limites da bacia, estando o mais próximo a 2,1 km do exutório.

Quadro 1 — Estratigrafia geológica da bacia costeira da Lagoa Grande

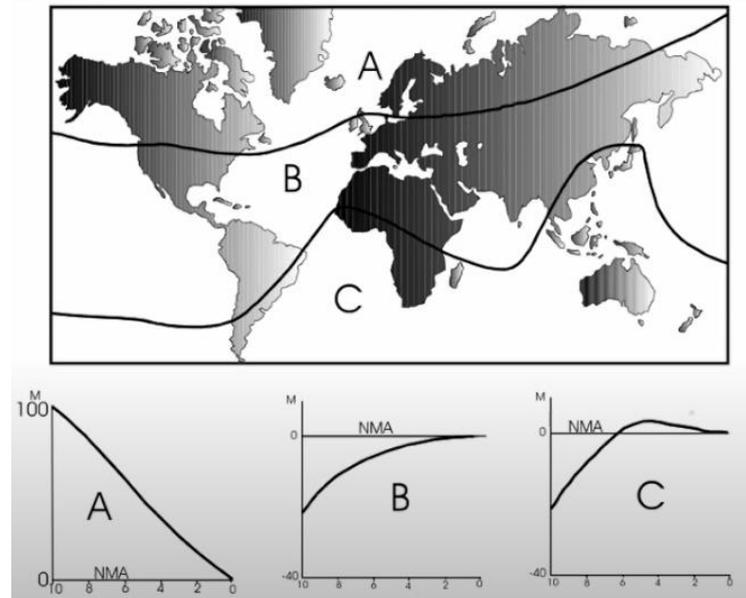
<b>Período</b>	<b>Formação</b>
Quaternário (Época: Holocênico)	Depósitos aluvionares Depósitos fluviomarinhos Depósitos arenosos
Mioceno ao Plioceno-Pleistoceno (BEZERRA; SUGUIO, 2006 apud SILVA; MACHADO; CPRM, 2014, p.18)	Grupo Barreiras
Pré Cambriano	Complexo Paraíba do Sul (Dividido entre Complexo Nova Venécia e Paraíba do Sul indiviso) (SILVA/CPRM, 2014, p.19)

Fonte: Plano de Manejo da APA Lagoa Grande (VISÃO AMBIENTAL, 2014).

Nota: Adaptado e atualizado pelo autor.

Com o nível do mar transgressivo, originaram-se as falésias esculpidas dos tabuleiros costeiros do Grupo Barreiras na área de estudo, dando origem aos sedimentos costeiros inconsolidados (BULHÕES, 2020). Estes depósitos arenosos que conformaram a Lagoa Grande datam do Holoceno devido às variações eustáticas (Figura 4 - gráfico C), localizadas no hemisfério sul, quando o nível do mar chegou a 4 metros acima do atual, aproximadamente no fim da Idade geológica Nortegripiano, que finalizou a 4200 anos antes de 1950 (NETO apud BULHÕES, 2020). Devido “resfriamento climático após um período de temperaturas geralmente crescentes durante o Holoceno precoce” (INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY, 2020), a regressão do nível do mar foi forçada ao ponto atual. Em consequência a estas mudanças a disponibilidade de sedimentos foi afetada diretamente, dispersando-os pela plataforma continental (MASSELINK; HUGHES, 2003).

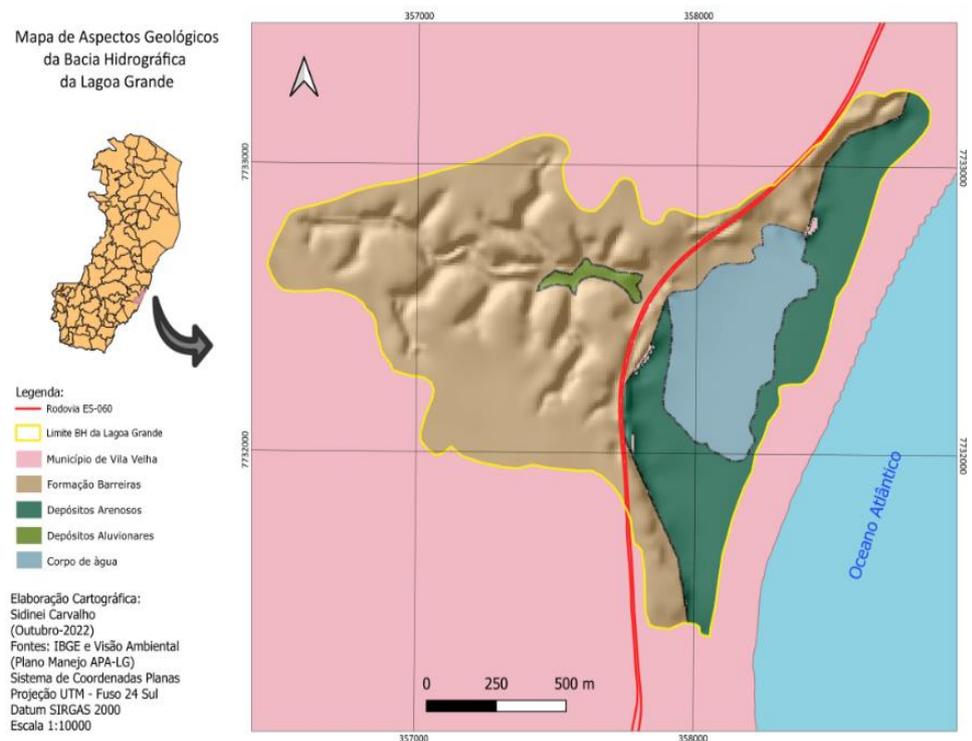
Figura 4 — Variações Eustáticas no Holoceno



Fonte: Prof. Dr. José Antonio Batista Neto (NETO, apud BULHÕES, 2020, t. 33'39").

O Complexo Paraíba do Sul Indiviso (SILVA/CPRM, 2014) está sob os sedimentos inconsolidados e tabuleiros costeiros na estratigrafia geológica da área da Bacia Hidrográfica da Lagoa Grande, e sustenta toda a dinâmica terrestre local apresentada no Mapa 2.

Mapa 2 — Mapa Geológico da bacia costeira da Lagoa Grande



Fonte: Adaptado pelo autor (CARVALHO, 2022), de IBGE e Visão Ambiental (2014).

As formas de relevo encontradas na área de estudo foram desta forma, condicionadas pela geologia, resultando em superfícies caracterizadas por estruturas morfológicas de formações superficiais autóctones e coberturas inconsolidadas, as formações superficiais alóctones (SILVA/CPRM, 2014).

Os solos encontrados na bacia costeira da Lagoa Grande, por análise do Mapa de reconhecimento de solos elaborado pelo GEOBASES/Incaper (2016), confirmam a correspondência com a literatura disponível, que os relaciona com o Grupo Barreiras e seus processos pedogenéticos. Predominantemente na área de drenagem em estudo, a oeste da Rodovia ES-060, foi constatado em campo (Figura 5-A) argissolos amarelo (PA<sub>dx</sub>6), sendo pela classificação Incaper, consistido em Distrocoeso típico (e abrupto), “variando de porosos a muito porosos, bem drenados, com permeabilidade alta” (VISÃO AMBIENTAL, 2014). Silva/CPRM (2014), Moura-Lima *et al* (2010) e Rolim, Menezes e Srbek-Araujo (2016), relatam o Grupo Barreiras com a presença de concreções ferruginosas, o que foi averiguado em um perfil aberto em campo (Figura 5-B). A leste da Rodovia do Sol, em campo na área de estudo, foi encontrado predominantemente, solos arenosos quartzosos, com porcentagem de argila menor que 15% (VISÃO AMBIENTAL, 2014).

Figura 5 — Solos da BH da Lagoa Grande a oeste da Rodovia ES-060.

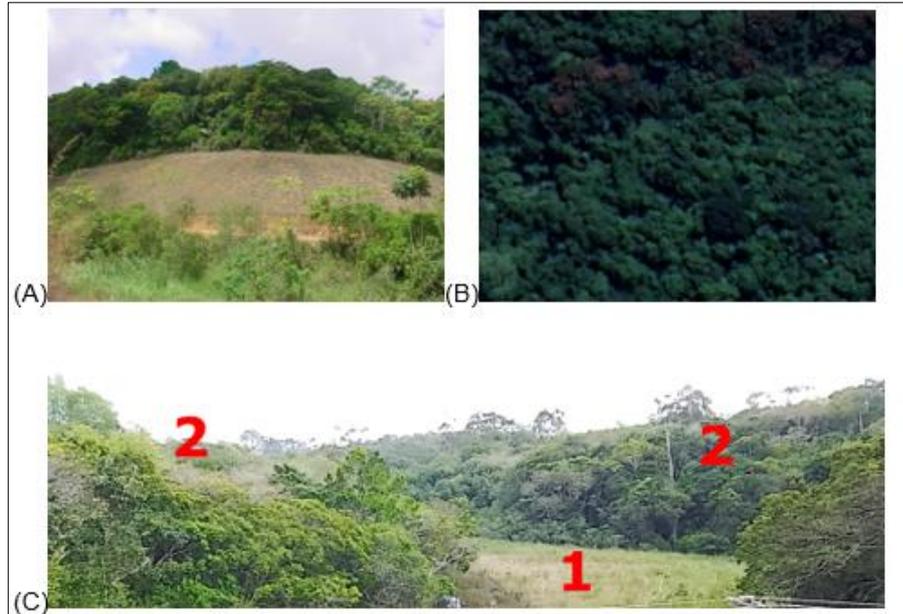


Fonte: Elaborada pelo autor em 30/09/2022. <sup>A</sup> Argissolo amarelo, <sup>B</sup> Detalhe de ferruginação no Grupo Barreiras. <[Original disponível](#)>

A vegetação dos tabuleiros do Grupo Barreiras a oeste da Rodovia do Sol, onde os argissolos amarelos têm predomínio, possui fragmentos de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas segundo o Manual Técnico da Vegetação Brasileira do IBGE (2012,

p. 66). Esta formação vegetal é primária na localização geográfica da área de estudo, e depende de faixas diferenciadas de altimetria, sendo condicionada pelos parâmetros de 16° a 24° de latitude Sul, e 5 m até 50 m de altitude (Figura 6).

Figura 6 — Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas.

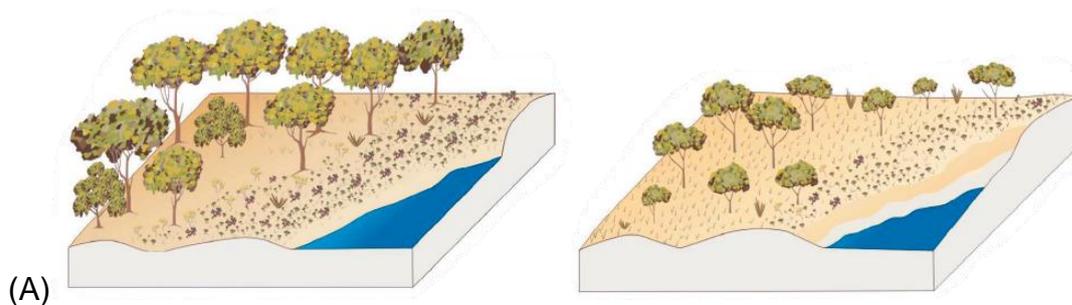


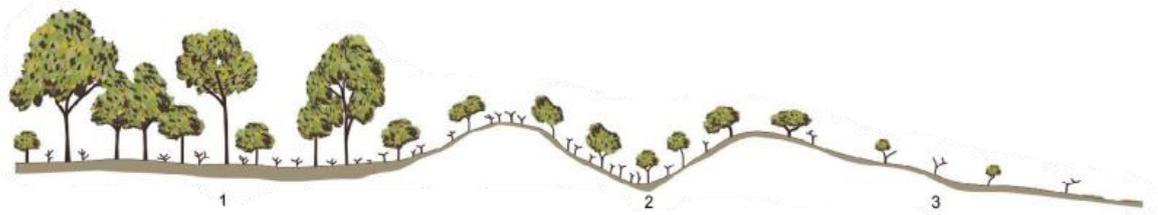
Fonte: (A) José Coelho de Araújo (2009, apud Embrapa, 2021); (B) Dossel área de estudo (Google, 2021), (C) Área do estudo, elaboração do autor: 09/10/2022 <sup>1</sup> Depósitos aluvionares em 24S - 357722 - 7732592, <sup>2</sup> Fragmentos Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas.

Na área da Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande com predomínio de solo arenoso, à leste da Rodovia ES-060, nas Formações Pioneiras sob influência marinha, foi possível detectar em campo e na revisão bibliográfica, a presença de fragmentos florestais de uma densa vegetação sobre os cordões arenosos, como apresentada por Veloso, Rangel Filho e Lima (1991, apud IBGE, 2012, p. 139-140) (Figura 7).

Figura 7 — Fragmentos florestais de vegetação com influência marinha.

(continua)





(B)



(C)

(conclusa)

Fonte: (A, B) Manual Técnico da Vegetação Brasileira. (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991, apud IBGE, 2012, p. 139-140) - <sup>1</sup> Arbórea, <sup>2</sup> Arbustiva, <sup>3</sup> Herbáceas (C) Elaboração do autor. 09/10/2022. <[Original disponível](#)>

Os parâmetros morfométricos lineares, zonais e hipsométricos (MAGALHÃES JÚNIOR; BARROS, 2020), aplicados a este estudo, foram obtidos a partir da delimitação da bacia da Lagoa Grande, realizada no programa QGIS e GRASS GIS, pelo processamento do MDE Copernicus e por investigação em campo, sendo a partir de Villela e Mattos (1975) empreendido os cálculos das variáveis necessárias a análise hidrológica proposta.

Desta forma, com a utilização do *raster* Copernicus DEM recortado, obtivemos os pontos altimétricos necessários (maior e menor altitude do canal principal), com a utilização da ferramenta “Identificar feições” do software QGIS, que indica as altitudes registradas na Banda 1 do MDE.

Os dados de batimetria da Lagoa Grande foram adquiridos por meio do relatório da LABMAR (2014) desenvolvido para a Prefeitura de Vila Velha.

### 5.3 ESTUDO DAS DECLIVIDADES DA BACIA

Por meio do processamento do MDE Copernicus com o QGIS, reprojeto e recortado com os limites da bacia, obtido durante o processo de delimitação automática da área de estudo, foi possível extrair as declividades presentes na bacia costeira da Lagoa

Grande com a utilização da ferramenta de análise do plugin GEDAL, “Declividade”. A geração foi processada com o item “Declividade expressa em porcentagem (ao invés de graus)” marcado (QGIS 3.26, 2022), segundo os métodos propostos por Siguel (2020), tendo sido gerado assim um *raster* Arquivo TIFF de declividade e posteriormente a elaboração do mapa de declividades da bacia.

Convertemos o arquivo *raster* de declividade da bacia de drenagem, para um arquivo *shapefile*, incluindo-se um campo virtual “*decliv*”. Posteriormente foi graduado em intervalos fixos de 1% pelos valores de declividades, e inserido outro campo virtual, “*area*”, de modo a analisar as feições, e relacionar as áreas com as porcentagens de declive. A tabela de atributos foi obtida para processamento e análise no software Excel, o que possibilitou a geração de um gráfico de verificação das relações de área e declividades, bem como número total de feições por porcentagem de declives.

A ciência das declividades e suas áreas relacionadas, foram de importância essencial para a obtenção dos coeficientes de escoamento superficial em toda a área de drenagem, segundo critérios da ASCE e da USDA (Tabelas 1 e 3).

#### 5.4 MAPEAMENTO DA COBERTURA E USO DA TERRA

Para relacionar a uso da terra e sua cobertura (SOARES FILHO, 2000, p. 4) com a variação do coeficiente de escoamento superficial (C) na Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande, de dezembro de 1970 a abril de 2021, tomamos por base as Tabelas 1, 2 e 3, da ASCE, de Fruhling, utilizada pela Prefeitura de São Paulo, Brasil, e do USDA, respectivamente, que apresentam os coeficientes *runoff* mais utilizados por engenheiros e hidrólogos, para a elaboração de 18 classes de superfícies encontradas na área de estudo (Quadro 2).

Quadro 2 — Classes de superfícies adotadas a partir das Tabelas de C.

(continua)

<b>Classes de superfícies adotadas</b>
Edificações com poucas superfícies livres
Edificações com muitas superfícies livres
Subúrbios / arrabalde com alguma edificação
Florestas em solo arenoso

Florestas em solo argiloso
Terras cultivadas em solo arenoso
Terras cultivadas em solo argiloso
Pastagens e solo exposto arenoso
Pastagens e solo exposto argiloso
Asfalto
Concreto / Calçadas
Telhados preponderantes
Gramma / herbáceas em solo arenoso
Gramma / herbáceas em solo argiloso
Corpos d'água e alagadiços Oeste Rod. ES-060
Corpos d'água e alagadiços Leste Rod. ES-060
Reservas Hídricas estruturais
Estradas vicinais e de terra

(concluso)

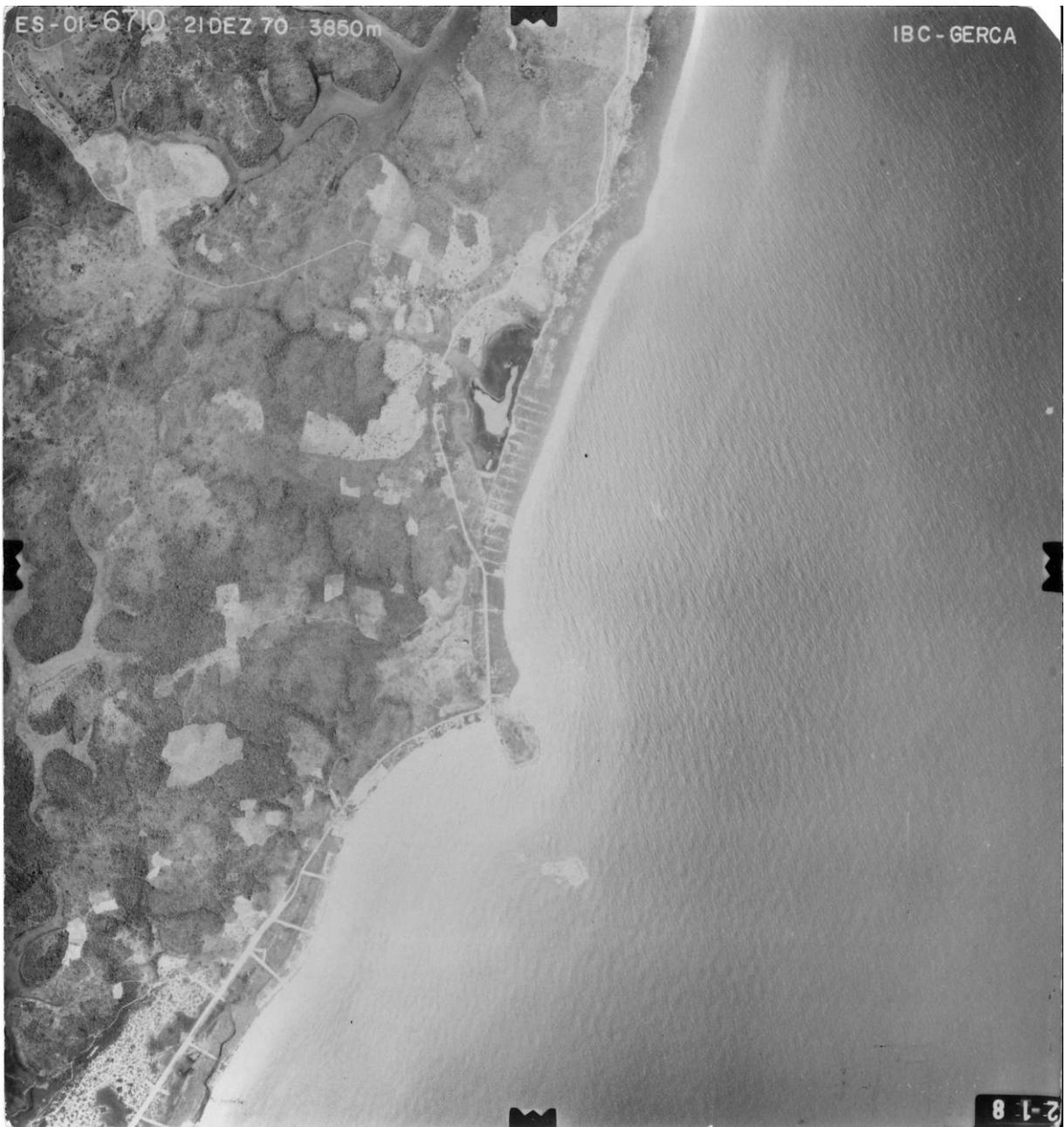
Fonte: Adaptado pelo autor, de ASCE, de Fruhling e do USDA.

Definidas as classes de superfícies a serem mapeadas, foram pesquisadas e coletadas imagens aéreas do IJSN (1970 e 1990) e da Maxar Technologies (2021), disponibilizada pelo programa Google Earth Pro. Utilizamos o processo de fotointerpretação pelos métodos de fotoleitura, fotoanálise e fotointerpretação (propriamente dita) proposto por Soares e Fiori (1976, apud XAVIER; FAUSTINO; FERREIRA, 2019, p.206) e (SOARES FILHO, 2000), sendo analisados os aspectos e elementos das imagens quanto à “textura, tamanho, forma, sombra, padrão, localização e contexto” (SOARES FILHO, 2000), de modo a uma observação sistemática e padronizada.

A imagem fotointerpretada de 1970, é uma imagem aérea de 21 de dezembro de 1970 da área de estudo em escala 1:25.000 (Figura 8), e foi obtida no site do Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN), por *download*, em novembro de 2021, tendo sido produzida pelo Grupo de Erradicação e Racionalização da Cafeicultura (GERCA), órgão ligado ao Instituto Brasileiro do Café (IBC, 1970). A imagem obtida é testemunha fiel do sistema de drenagem, da cobertura e do uso da terra existente na área de estudo em

1970, antes da construção da Rodovia ES-060. Por meio do aplicativo Remini (BENDING SPOONS SPA, 2022), disponível para iOS/Apple, foi realizado o aprimoramento por Inteligência Artificial (IA) sobre a imagem, sendo assim, aperfeiçoada com a inclusão de pixels.

Figura 8 — Foto aérea da área de estudo em 1970.



Fonte: IBC-GERCA (GOV.ES;GEOBASES, 1970).

No software QGIS a imagem foi georreferenciada, tomando como base a ortofoto de 2019-2020 de Vila Velha (código 35-774) do Satélite KOMPSAT 3/3A, disponibilizada pelo GEOBASES (IJSN, 2022), em sistema de coordenadas planas UTM, para a zona

24S (EPSG 31984) em metros, sendo após recortada com o arquivo *shapefile* dos limites da bacia hidrográfica costeira da Lagoa Grande, para a análise e mapeamento pelos métodos de fotointerpretação.

A imagem fotointerpretada de 1990, é resultado da mesclagem de três imagens aéreas (códigos 03-1196, 04-1224 e 04-1226) de escala 1:8.000 (Figura 9), disponibilizadas pelo IJSN em pesquisa na biblioteca da instituição em outubro de 2022, na sua sede em Vitória-ES. As fotografias aéreas apresentadas para o estudo, começaram a ser analisadas na própria biblioteca por meio do aplicativo “Lupa”, instalado em um *iPad* 2ª geração da Apple, o que nos permitiu iniciar desde já anotações das feições observadas. Com a utilização do software QGIS, e como base a ortofoto de 2019-2020 do Satélite KOMPSAT 3/3A, mesmo arquivo utilizado para a imagem de 1970, foram realizados o georreferenciamento das três imagens aéreas de novembro de 1990, produzidas pela empresa MAPLAN em parceria com o IJSN, sendo após recortada com o arquivo *shapefile* dos limites da bacia costeira da Lagoa Grande para a análise e mapeamento pelos métodos de fotointerpretação.

Figura 9 — Fotos aéreas da área de estudo em 1990.



Fonte: Gov. do Est. do Espírito Santo e MAPLAN Aerolevantamentos (1990).

A imagem fotointerpretada de 2021 é uma imagem aérea orbital (Figura 10) do satélite LandSat e Copernicus, aperfeiçoada pela empresa Maxar Technologies, e disponibilizada pelo programa Google Earth Pro (GOOGLE; MAXAR TECHNOLOGIES, 2021). O download da imagem foi realizado na escala 1:8.000 no próprio programa do Google com a melhor resolução cedida. Foram realizados os mesmos procedimentos de georreferenciamento aplicados nas imagens de 1970 e 1990, de sorte à padronização, sendo após recortada com o arquivo *shapefile* dos

limites da bacia da Lagoa Grande para a análise e mapeamento pelos métodos de fotointerpretação.

Figura 10 — Imagem aérea orbital da área de estudo em 2021.



Fonte: LandSat/Copernicus, Maxar Technologies e Google (2021).  
Nota: Alterada cor pelo autor.

Preparadas as imagens aéreas para o mapeamento da cobertura e uso da terra em 1970, 1990 e 2021 na área da bacia, foram iniciados três projetos distintos no programa QGIS para a análise sistemática e criação dos polígonos correspondentes às 18 classes de superfícies adotadas (Quadro 2). Conforme a metodologia do Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos (UFES, 2019) para fotointerpretação de feições poligonais, configuramos o programa QGIS nos três projetos, com habilitação avançada da ferramenta de aderência (segmentos, vértices, edição topológica e aderência na interseção), evitando assim sobreposições e/ou áreas não classificadas, ainda, não foram utilizados traços nos limites dos polígonos, o mapeamento se deu prioritariamente de montante à jusante e os níveis de cinza das imagens foram estabelecidos em mínimos e máximos (SANTOS/UFES, 2019). Os multipolígonos de cada classe de superfície adotada, foram arquivados em dados vetoriais com arquivos de padrão de codificação GeoPackage, desenvolvido pela *Open Geospatial Consortium* (OGS), de formato aberto, que possibilita a gravação num único arquivo de dados vetoriais, raster e tabelas (OGC, 2022).

A observação controlada e sistemática a partir das diversas visitas a campo em toda área da Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande, corroborou de forma conclusiva

para a identificação, mapeamento e criação dos polígonos das superfícies classificadas por meio dos métodos de fotoleitura, fotoanálise e fointerpretação (propriamente dita).

## 5.5 DEFINIÇÃO DOS COEFICIENTES DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Com a conclusão dos mapeamentos para os anos de 1970, 1990 e 2021, foram relacionadas as áreas totais de cada classe de superfície adotada com o coeficiente de deflúvio (C) correspondente. Sendo que, quanto às classes mapeadas contendo fragmentos florestais, pastagens, terras cultivadas e gramas e herbáceas, os coeficientes C têm significativas variações em decorrência da declividade da superfície como explícito nas Tabelas 1 e 3. Para estas, portanto, foram realizados cálculos de média ponderada para C, com a razão do produto, das áreas de declividade do intervalo pelo coeficiente C específico, pela área total da classe correspondente (Equação 5), por meio do arquivo e dados de declividades obtidos.

Desta forma, as áreas de cada intervalo de declividade foram obtidas pela aplicação do arquivo *raster* de declividade da bacia costeira da Lagoa Grande, que foi recortado usando como camada de máscara o arquivo vetorial dos polígonos de cada classe, mantendo-se a resolução do *raster* de declividade original e o mesmo tipo de dado de saída, *float32 bits*. O *raster* de declividades da classe gerado, foi convertido em arquivo vetorial *shapefile* com a inclusão de um campo virtual “*decliv*”. O arquivo *shapefile* com a declividade da classe, foi graduado em intervalos fixos de 1% pelos valores de declividades. Com a tabela de atributos aberta, foi criado um novo campo “área”, obtendo-se assim a área de cada intervalo de unidade percentual de declividade que varia, em toda a bacia. A tabela de atributos foi exportada como Planilha de cálculo Microsoft Office Open XML, sendo em seguida aplicada a Equação 5 para ponderação do coeficiente C de cada classe que é influenciada por declividade, de acordo com os intervalos de declividade das tabelas (Figura 11). De forma a relacionar o Coeficiente C proposto nas tabelas 1 e 3, com o objetivo principal deste estudo, foram aplicados os menores valores de C para a ponderação, de sorte que melhor refletem períodos de escassez hídrica, em que os solos estão secos e com maior capacidade de infiltração (TUCCI, 2000; PUC Goiás, 2022; MOLINARI E VIEIRA, 2004), gerando assim o APÊNDICE D.

Figura 11 — Exemplo dos cálculos de média ponderada para o coeficiente C.

D	E	F	G	H
Florestas em solo argiloso (2021)		C do intervalo de declividade		C para a classe (média ponderada)
	m <sup>2</sup>	ha		
Área Total	448321,4236	44,8321		<b>0,524</b>
Área de 0 a 5%	104926,2758	10,493	0,40	
Área de 6 a 10%	129727,0397	12,973	0,50	
Área de 11 a >30%	213668,1081	21,367	0,60	
Fórmula Excel:	<b>=SOMA((G3*F3+G4*F4+G5*F5)/F2)</b>			

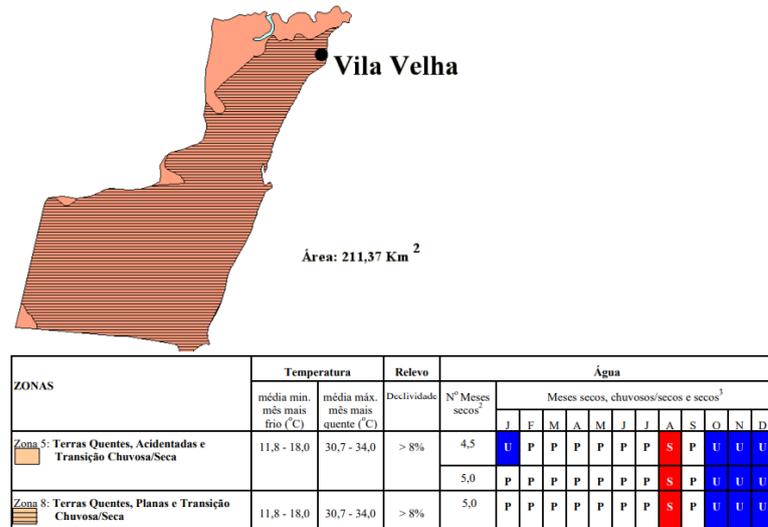
Fonte - Elaboração do autor.

## 5.6 ESTIMAÇÕES HIDROLÓGICAS

Desta forma, com os dados de áreas das classes de interesse, e seus respectivos coeficientes *runoff* (C), definidos, ponderados quando aplicado, passamos à análise quantitativa da estimativa do escoamento superficial e da infiltração potencial, em um evento de intensidade máxima média de precipitação ( $i_m$ ) tomado por referência, tendo para estas estimativas, considerações específicas, como: períodos de estiagens com solo seco, hipoteticamente com altas tensões de sucção; alto gradiente hidráulico e alta capacidade de infiltração; nível altimétrico da Lagoa Grande na altura da borda inferior do diâmetro nominal da manilha de saída do exutório antropizado, e, sendo também, não contabilizadas as influências da interceptação pela vegetação e posterior evaporação.

Passamos à aplicação da Equação 1, que foi necessário a definição do tempo de retorno (T) para o cálculo da  $i_m$  de referência, o qual, segundo Hawkins (1993) todos os períodos de retorno são “consistentes”, sendo desta forma utilizado neste estudo um valor para T igual a 01 ano, com base no ano hidrológico e na caracterização de climas para o Estado do Espírito Santo, a partir do “estudo de zonas naturais” desenvolvido para Vila Velha (Figura 12) pelo Núcleo de Estudo de Planejamento e Uso da Terra da Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária (EMCAPA/NEPUT, 1999 apud Incaper/SEPLAN-ES, 2022, p.100).

Figura 12 — Zonas Naturais características de Vila Velha, ES.



Legenda: <sup>2</sup> Cada 2 meses parcialmente secos são contados como um mês seco.

<sup>3</sup> U - chuvoso, S - seco, P - parcialmente seco.

Fonte: EMCAPA/NEPUT por Incaper/SEPLAN-ES.

Ainda, para a aplicação da Equação 1, foi calculado o tempo de concentração ( $t_c$ ) para entrada de dados, tomado como base a Equação de Giandotti (Equação 2), que segundo estudo de Martins (2017) mostrou-se mais coerente em relação à vazão medida em uma pequena bacia urbana em Uberlândia, MG.

Os parâmetros de ajuste utilizados na Equação 1 foram obtidos por meio do programa Plúvio 2.1 (GPRH; UFV, 2005), disponibilizado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), por seu Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH), no qual foi gerado um relatório com os dados de ajuste, K, a, b, e c. (Anexo 1). Desta forma, aplicamos a Equação 1 para obtermos  $i_m$ , e em seguida aplicamos ao resultado a Equação 3, chegando assim, à precipitação (P) em uma lâmina d'água com unidade em mm, que é igual e corresponde a litros por 01 metro quadrado, decorrente da  $i_m$  de referência.

O volume estimado do escoamento superficial e de chuva com potencial para infiltrar, foram calculados a partir da principal equação do coeficiente de escoamento superficial (Equação 4), que relaciona o volume total escoado pelo volume total precipitado. Dessa forma, invertendo a equação, usamos o valor de P obtido, e chegamos à equação:

$$V_{esd} = (P \cdot C) \cdot A \quad (\text{Equação 7})$$

Sendo,

$V_{esd}$  = Volume do escoamento superficial, em litros;  
 $P$  = Lâmina d'água de referência em 01 m<sup>2</sup>, em litros;  
 $C$  = coeficiente de escoamento superficial, adimensional;  
 $A$  = área da superfície, m<sup>2</sup>.

Para encontrarmos a estimativa do volume de chuva com potencial para infiltrar, aplicamos a seguinte equação:

$$V_{cpi} = P \cdot (1 - C) \cdot A \quad \text{(Equação 8)}$$

Sendo,

$V_{cpi}$  = Volume de chuva com potencial para infiltrar, em litros;  
 $P$  = Lâmina d'água de referência em 01 m<sup>2</sup>, em litros;  
 $C$  = coeficiente de escoamento superficial, adimensional;  
 $A$  = área da superfície, m<sup>2</sup>.

Com o objetivo de demonstrar os efeitos da variação dos diferentes valores do coeficiente  $C_{geral}$  obtidos nos anos de 1970, 1990 e 2021 com base nos mapeamentos, aplicamos o Método Racional (Equação 6), destarte que, estimamos a vazão máxima pelas 20 maiores precipitações totais ( $P$ ) com duração de 03 horas, que corresponde ao tempo de concentração do curso d'água principal, registradas na estação pluviométrica do Inmet (Vila Velha- código 0634) de 01 de outubro de 2021 a 30 de setembro de 2022, ano hidrológico da Grande Vitória (CPRM, 2017).

Sendo um dos meios de conjecturar, quando não há instrumentação fluviográfica na seção que se deseja estimar a vazão em um curso d'água e/ou canal de drenagem, o Método Racional nos possibilita a estimativa do escoamento superficial de uma bacia de drenagem, sendo a demonstração proposta, capaz de representar as consequências dos  $C_{geral}$  com diferentes precipitações totais reais registradas.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande, englobada pela APA da Lagoa Grande, possui uma área de drenagem de 1,92 km<sup>2</sup>, bem delimitada por seus divisores de águas, na porção sul do município de Vila Velha (centróide em 20°30'04"S e 40°21'53"O), com um único exutório, modificado por ação antrópica, canalizado por aproximadamente 240 m sob parte da rua Jaime Meneguelli, no bairro Ponta da Fruta, até o Oceano Atlântico (Figura 13), enquadra-se no conceito de Borsato e Martoni (2004, apud TEODORO *et al.*, 2007, p.140) como:

[...] uma área limitada por um divisor de águas, que a separa das bacias adjacentes e que serve de captação natural da água de precipitação através de superfícies vertentes. Por meio de uma rede de drenagem, formada por cursos d'água, ela faz convergir os escoamentos para a seção de exutório, seu único ponto de saída. (BORSATO; MARTONI, 2004, apud TEODORO *et al.*, 2007, p.140).

Quanto às variações de nomenclaturas encontradas na literatura, a saber, “bacia hidrográfica, sub-bacia, microbacia, pequena bacia”, adotamos neste estudo de maneira a não incorrer em erros (WILKEN, 1978; TOMAZ, 2002) - Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande - não pelo fato de suas medidas físicas, mas pelo fato que, sua reduzida dimensão, corroborada com características litorâneas, potencializa sobremaneira sua vulnerabilidade ambiental decorrente de intervenções antrópicas (TEODORO *et al.*, 2007).

Figura 13 — Exutório antropizado da Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande.

(continua)



(A)



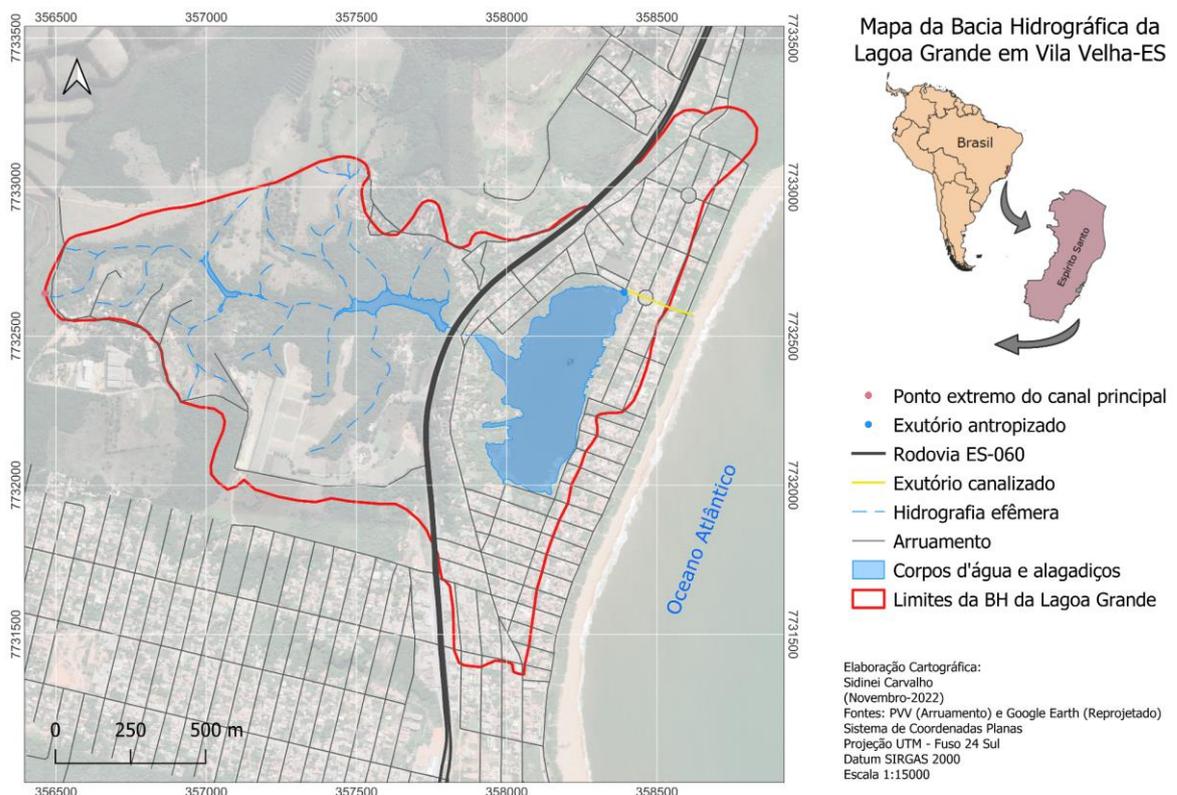
(B)

(conclusa)

Fonte - Elaboração do autor. 23/10/2021 <sup>A</sup> Montante; <sup>B</sup> Jusante. <[Original disponível](#)>

Com os produtos dois processos de delimitação, o automático e o manual em campo (Figura 3), reavaliação nos SIGs e retorno à área de estudo para análise quanto às diferenças das delimitações automática e manual inicial, chegamos ao resultado final, detalhado e re-verificado da delimitação da Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande com 7767,56 m de perímetro sobre seus divisores topográficos (Mapa 3).

Mapa 3 — Limites da Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande.



Fonte: Elaboração do autor (CARVALHO, 2022). <[Original disponível](#)>

Os parâmetros morfométricos das características físicas da bacia costeira da Lagoa Grande são apresentados no Quadro 3, e por meio destes resultados foi possível avaliar que, devido ao Índice de sinuosidade do canal principal, com 1,34, este é classificado como sinuoso (SCHUMM, 1963 apud MAGALHÃES JÚNIOR; BARROS, 2020). A rede de drenagem é composta por canais efêmeros que, sob precipitação, direcionam seus fluxos para duas lagoas, formadas por barramentos, e áreas alagadiças a oeste da Rodovia do Sol. Abaixo da rodovia e do dique construído para suportar a mesma, a drenagem das águas flui por meio de manilhamento, construído com a pavimentação na década de 1970. O fluxo pluviométrico recarrega a Lagoa Grande que direciona por meio de seu talvegue (Ver mapa de batimetria) as águas para o exutório.

Quadro 3 — Características morfométricas da bacia costeira da Lagoa Grande.

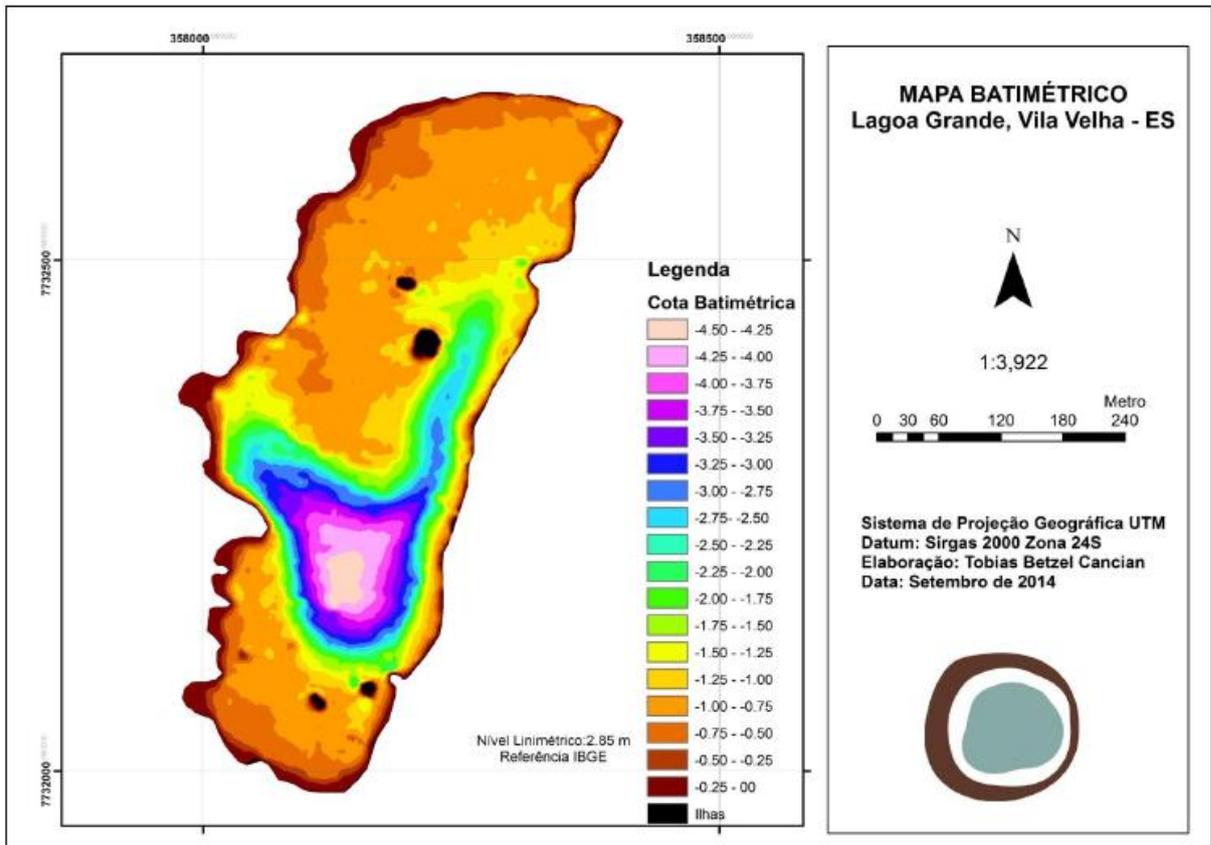
Parâmetros	Valor
Área de drenagem	1,916 km <sup>2</sup> (191,617 ha)
Perímetro	7767,56 m
Comprimento do curso d'água principal	2576,419 m
Comprimento axial curso d'água principal	1927,316 m
Sinuosidade do curso d'água principal	1,34
Amplitude hipsométrica do exutório ao ponto mais distante do canal principal	25,57 m
Altitude na Saída no exutório antropizado	3,00 m
Declividade média do curso d'água principal	0,0099238 m.m <sup>-1</sup>

Fonte: Elaboração do autor.

A Lagoa Grande possui direções diversas abruptas em seu talvegue principal, revelado por meio da área do espelho d'água em 1990 (Figura 19), que mostra a direção do fluxo para sudeste com mudança para nor-nordeste, também explicitada pelo Mapa 4 de batimetria da LABMAR (2014). Este confirma ainda a cota altimétrica de 25,57 m, o qual informa uma cota batimétrica variável de 0 a -4,50 m de profundidade, tendo a cota linimétrica, o nível d'água "0", em 2,85 m acima da cota "0"

de referência do IBGE (LABMAR, 2014), desta forma, coerente com o nível encontrado por meio do processamento do MDE Copernicus no QGIS e GRASS GIS, de 3,00 m na saída do exutório antropizado.

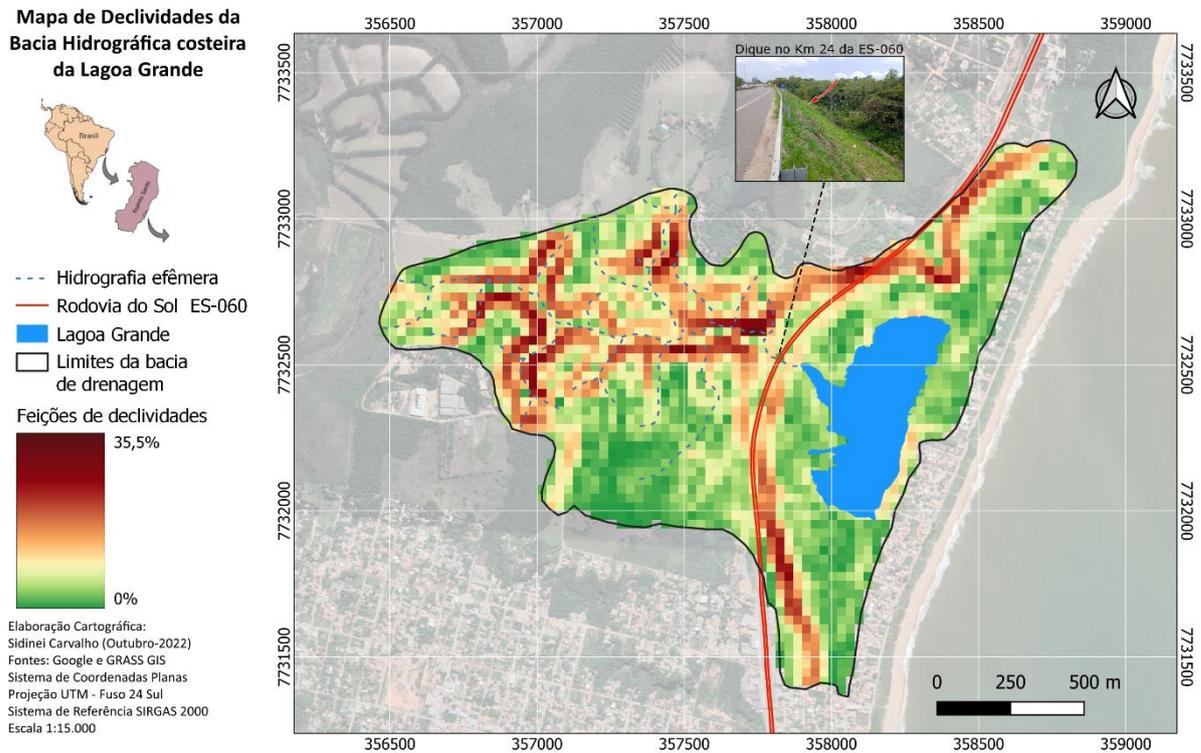
Mapa 4 — Batimetria da Lagoa Grande.



Fonte: LABMAR Geologia e Meio Ambiente (2014).

O estudo das declividades da bacia hidrográfica costeira da Lagoa Grande gerou-nos o produto do Mapa 5, que revela os maiores declives, em sua maioria com os canais de drenagem em suas bases. A nordeste da bacia, é possível verificar a linha do Grupo Barreiras, em sua posição antropizada por escavações.

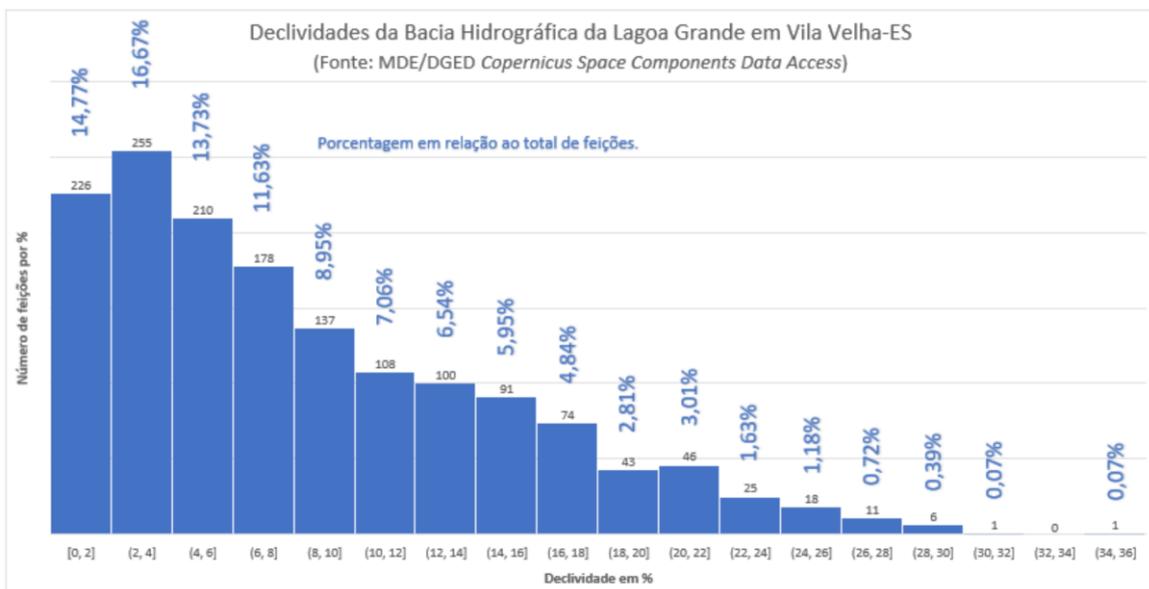
Mapa 5 — Mapa de Declividades da bacia costeira da Lagoa Grande.



Fonte: Elaboração do autor (CARVALHO, 2022), com dados Google Earth, ANA e Copernicus MDE. [<Original disponível>](#)

As declividades encontradas na bacia costeira da Lagoa Grande variam de 0 a 35,5% (Gráfico 3), sendo, segundo critérios da Embrapa as superfícies classificadas de acordo com a Tabela 4 pelos seus níveis de declive.

Gráfico 3 — Feições de declividades da bacia costeira da Lagoa Grande.



Fonte: Elaboração do autor com dados MDE Copernicus.

As declividades estão diretamente ligadas ao coeficiente C, provocando maior intensidade de escoamento superficial quanto maior for o declive da superfície (Embrapa, 2003). Na área de estudo, cerca de 65% das feições analisadas (Mapa 5), correspondem a superfícies de 0 a 8% de declividade, caracterizadas de planas a pouco inclinadas, o que indica escoamentos superficiais muito lento a médio, que favorecem os processos de infiltração em condições naturais da superfície dos solos.

Tabela 4 — Classes de declividades.

(continua)

Classe de Declividade	Característica da classe	Área da Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande (ha)	%
Declive A - de 0 a 3%	Superfície plana, em que o escoamento superficial é lento ou muito lento.	66,1950	34,55
Declive B - de 3 a 8%	Superfície pouco inclinada, em que o escoamento superficial é lento ou médio.	58,4231	30,49
Declive C - de 8 a 14%	Superfície inclinada, em que o escoamento superficial é médio ou rápido.	35,2861	18,41
Declive D - de 14 a 20%	Superfície muito inclinada, em que o escoamento superficial é rápido ou muito rápido na maioria dos solos.	20,9930	10,96
Declive E - de 20 a 45%	Superfície fortemente inclinada, em que o escoamento é muito	10,7198	5,59

	rápido para a maioria dos solos.		
Declive F - declividade maior que 45%	Superfície muito íngreme.	0	0
Total		191,617 hectares	100%

(conclusa)

Fonte: Embrapa (2003)

Nota: Dados inclusos da área de estudo pelo autor.

O mapeamento da cobertura e uso da terra segundo o método de fotointerpretação proposto por Santos (UFES, 2019) em sua série de aulas a respeito, gerou multipolígonos de cada classe de superfície adotada, sendo referenciados quanto aos coeficientes C apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3.

Os fragmentos florestais presentes na bacia costeira da Lagoa Grande (Figura 14) nos anos 1970, 1990 e 2021, correspondiam a 52,21%, 22,33% e 27,16% respectivamente, em relação a área total da bacia, tendo os coeficientes de escoamento superficial destas feições, variando, após realizadas as médias ponderadas quando aplicado, de 0,121 a 0,524 (Quadro 4). O valor base para esta classe, varia quanto à declividade e ao tipo de solo na Tabela 3 do USDA.

No espaço temporal de 1970 a 1990, a redução dos fragmentos florestais foi de 57,23%, equivalente a 57,255 ha (0,57 km<sup>2</sup>) de desmatamento em 20 anos, a uma taxa de 28600 m<sup>2</sup>.ano<sup>-1</sup>, dando lugar ao cultivo de coco principalmente, na região de solo argiloso, constatado em campo por pequenos resquícios da cultura. Desta análise quantitativa permite ainda saber que, neste período de 20 anos, a bacia costeira da Lagoa Grande perdeu aproximadamente, mais 30% de sua área florestal.

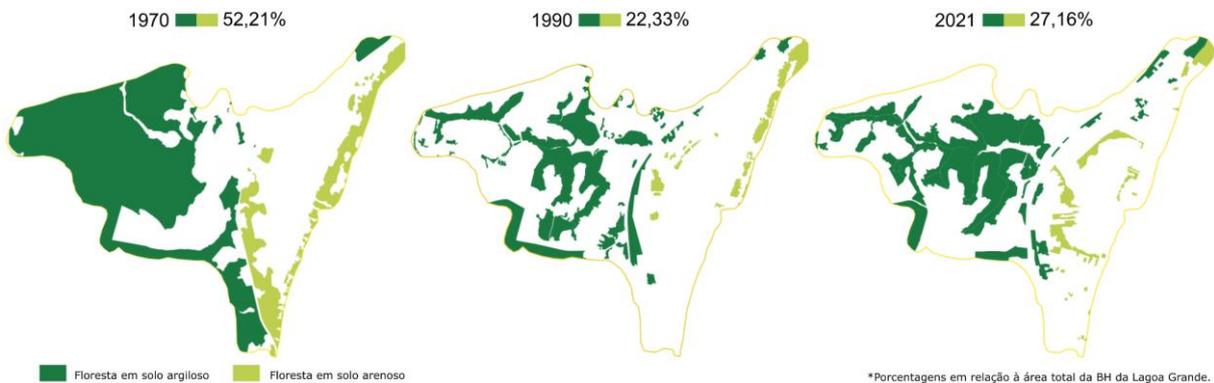
A partir de 1990, evidenciado com o mapeamento de 2021, houve um aumento de 21,64% dos fragmentos florestais na superfície da bacia, com denso reflorestamento nas encostas de solo argiloso.

Ramos (1996) expressa que, a partir da Conferência Internacional sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a ECO 92, ocorrida no município do Rio de Janeiro, “o

termo desenvolvimento sustentável foi associado a uma suposta nova ética ambiental, que abrange a dimensão econômica, política, ecológica e educacional”. A integração destas dimensões expressas por Ramos (1996) pode ter influenciado a consciência dos proprietários de terra na bacia costeira da Lagoa Grande, levando-os a novos meios de desenvolvimento, o sustentável.

Contudo, atualmente, mesmo diante da mudança do uso da terra nas áreas reflorestadas, não houve suficiente melhoria quanto aos coeficientes de escoamento superficial de 1990 para 2021 nesta classe de superfícies, que em 1990 variava de 0,128 a 0,513 e em 2021, registramos a variação de 0,155 a 0,524, proporcionando assim maiores taxas de escoamento superficial, o que se deve ao aumento dos fragmentos florestais ter ocorrido mais expressivamente em feições com maiores declividades na região central da bacia. Destarte que, evidencia problemática nas cabeceiras fluviais, que são consideradas importantes zonas de recarga hídrica, as quais, em condições adequadas de florestamento, poderiam propiciar o surgimento de nascentes em pontos diversos das encostas.

Figura 14 — Mapeamento dos fragmentos florestais.

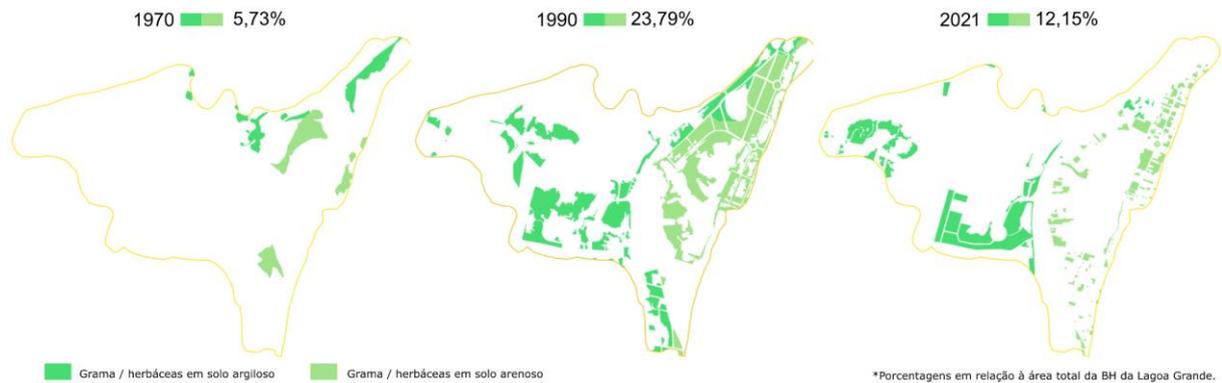


Fonte: Elaborado pelo autor / Apêndices A, B e C (CARVALHO, 2022). <[Original disponível](#)>

Devido a perda dos fragmentos florestais ocorridos de 1970 a 1990, as áreas com vegetações rasteiras, gramas e herbáceas (Figura 15), cresceram de 11 para 45,6 hectares, um aumento no período de 315,18%, ou seja, aproximadamente um quarto da bacia correspondia em 1990 a áreas sem uso definido, tanto em solo argiloso quanto arenoso. Em 1990, a elevação registrada de áreas de grama e herbáceas, fez com que o coeficiente C geral da bacia ( $C_{1990} = 0,458$ ), caísse em níveis menores que em 1970 ( $C_{1970} = 0,496$ ). A influência persiste ainda com a obtenção da reduzida variação de C: 0,090 e 0,204 em 1970, para 0,091 e 0,205 em 1990 em relação às

áreas totais da classe. Neste caso retratam um equilíbrio nas mudanças para esta nova feição, devido principalmente às variáveis quanto às declividades e a característica de solos bem drenados. No período até 2021 as áreas com grama e herbáceas reduziram cerca de 223000 m<sup>2</sup>, principalmente devido ao aumento da urbanização.

Figura 15 — Mapeamento de áreas de grama e herbáceas.



Fonte: Elaborado pelo autor / Apêndices A, B e C (CARVALHO, 2022). <[Original disponível](#)>

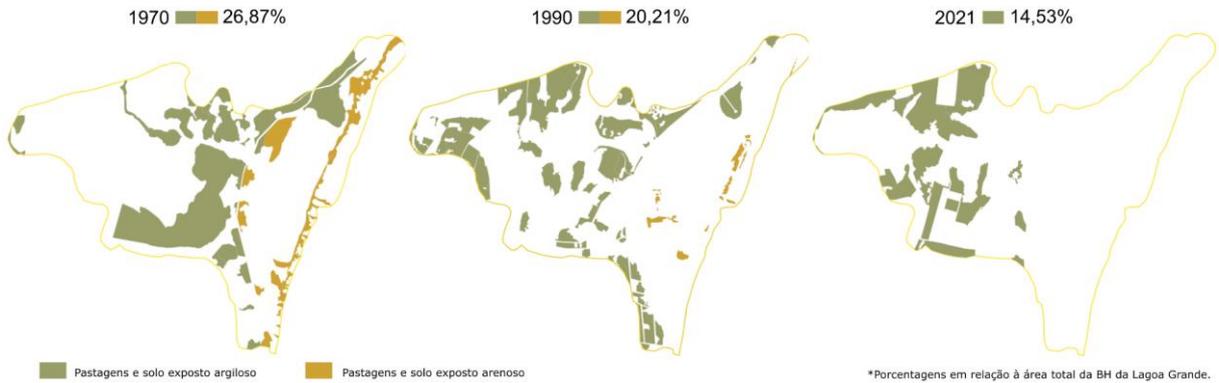
Assim como as classes de fragmentos florestais, de gramas e herbáceas e de áreas cultivadas, as áreas que correspondem às pastagens e solo exposto evidenciados (Figura 16), receberam pela Tabela 3, diferentes valores de coeficiente C, de acordo com os três intervalos de declividades e os dois tipos de solo presentes na área de estudo. Esta classe de superfície era expressiva na bacia costeira da Lagoa Grande em 1970, e ocupava 26,87% da bacia, sendo reduzida suas áreas mapeadas em 1990 (20,21%), seguida por 14,53% em 2021.

Considerando o censo agropecuário (IBGE, 2017) que apresenta o município de Vila Velha com 73,86% da área voltada às pastagens, enquanto a área de estudo em 2021 ocupa somente 14,53%, evidencia-se claramente representação da urbanização inserida nos limites da bacia.

Destaca-se nesta classe mapeada, que, nas áreas de solo arenoso a leste da Rodovia do Sol, sobre os cordões litorâneos, no mapeamento de 2021, nem uma feição foi observada, sendo evidência da ocupação antrópica predominante.

Desta forma, o coeficiente de escoamento superficial da classe de pastagens e solo exposto, varia de 0,114 (1970) a 0,111 (1990) em solo arenoso, e, 0,512 (1970) a 0,517 (1990), reduzindo para 0,501 em 2021 em solo argiloso (Quadro 4).

Figura 16 — Mapeamento das áreas de pastagem e solo exposto.



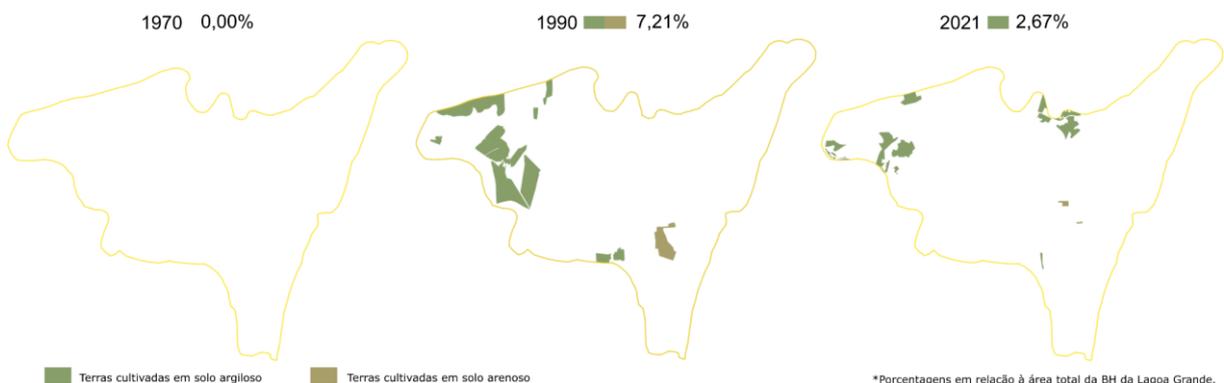
Fonte: Elaborado pelo autor / Apêndices A, B e C (CARVALHO, 2022). <[Original disponível](#)>

Com base na investigação proposta, é latente a baixa expressão de lavouras na área de drenagem mapeada, visto que em 1970 não foi constatado nenhuma feição enquadrada na classe de terras cultivadas (Figura 17), seguido por 7,21% (0,14 km<sup>2</sup>) da bacia em 1990 e insípido 2,67% (0,05 km<sup>2</sup>) em 2021.

Na análise da aerofotografia de 1990, identifica-se áreas com cultivo de coco, dado o alinhamento característico das unidades produtoras e por fragmentos da cultura constatados na imagem de 2021, bem como por visita a campo.

Nesta classe de análise, o coeficiente C varia de 0,300 a 0,716 (Quadro 4), nos anos mapeados segundo às médias ponderadas, devido a declividade e tipo de solo.

Figura 17 — Mapeamento das áreas cultivadas.

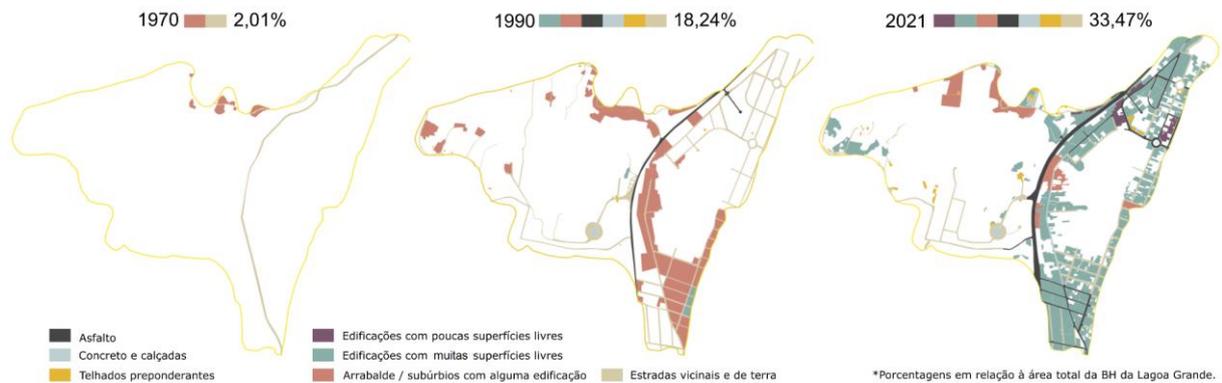


Fonte: Elaborado pelo autor / Apêndices A, B e C (CARVALHO, 2022). <[Original disponível](#)>

Para a análise quali-quantitativa da urbanização na Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande, as classes adotadas para relacionar com o coeficiente C, foram as representadas na Figura 18, de forma que refletem as ações antrópicas de uso da terra para atender as necessidades de infraestrutura e habitação da população. O

mapeamento de 1970 revela a predominância rural à época para a área de estudo, por reflexos da urbanização com apenas 2,01%, ou 0,04 km<sup>2</sup>, de feições com alguma edificação e vias de acesso, para as classes fotointerpretadas, de arrabalde e estradas vicinais e de terra (Quadro 4) (ALMEIDA, 2020).

Figura 18 — Mapeamento da urbanização.



Fonte: Elaborado pelo autor / Apêndices A, B e C (CARVALHO, 2022). <[Original disponível](#)>

A construção da Rodovia ES-060 na década de 1970, potencializou a mudança da relação com a terra e o processo de urbanização foi o principal reflexo a partir deste evento, mediante a facilitação do acesso à área (A GAZETA, 2000), efetivando-se prioritariamente na região leste da bacia, pela extensão das habitações do bairro Ponta da Fruta para a proximidade da Lagoa Grande. Assim resultando em 1990, no crescimento infraestrutural para 18,24% do total da bacia, sendo um aumento de 809%, chegando a 0,35 km<sup>2</sup> dos 1,92 km<sup>2</sup> totais da Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande.

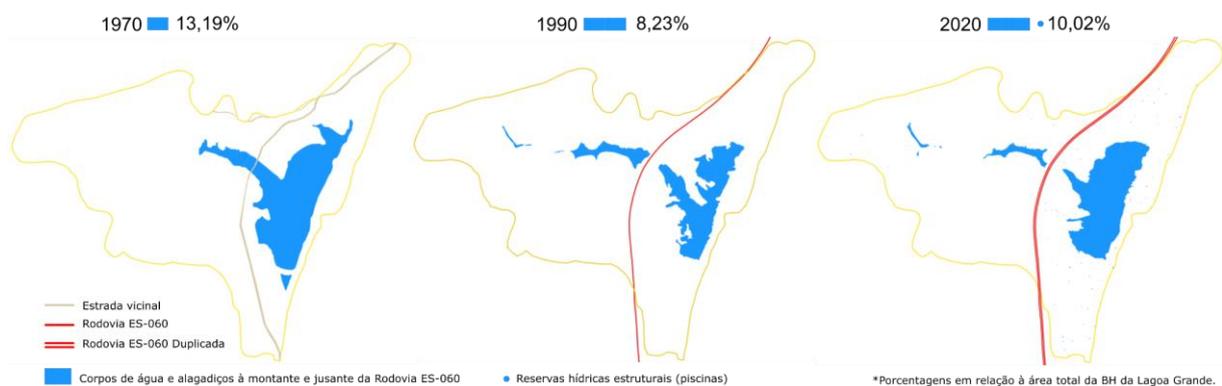
O processo de impermeabilização do solo, principalmente por meio de pisoteamento e aumento das estradas vicinais e de terra, e tráfego (CARVALHO; SILVA, 2006), é explicitado por meio do mapeamento de 1990. O aumento populacional no município de Vila Velha nas décadas de 1980 a 2010 (VALFRÉ; RIOS, 2019), se estendeu à área deste estudo de forma que, foi mapeado um crescimento da urbanização de 83,5%, na imagem orbital de 2021, em comparação a aerofoto de 1990, o que reforça a evidência do aumento do coeficiente de escoamento superficial de forma geral.

A variação no coeficiente C em decorrência da urbanização, se torna clara com o aumento das feições consideradas nesta análise. Em 1990 o coeficiente C, para as feições urbanizadas, correspondia a 0,495 por média ponderada, sendo que em 2021

este índice adimensional subiu a 0,583, evidenciando um salto de 18%, sendo a impermeabilização do solo, com a construção de grande número de novas edificações, a principal coadjuvante.

A Figura 19 apresenta os corpos d'água e áreas alagadas, ou propícias a alagamentos, identificados nos mapeamentos das imagens orbitais e suborbitais de 1970, 1990 e 2021, os quais correspondem a áreas de 25,276 ha (0,25 km<sup>2</sup>), 15,776 ha (0,16 km<sup>2</sup>) e 19,205 ha (0,19 km<sup>2</sup>), respectivamente.

Figura 19 — Mapeamento das áreas de corpos d'água e alagadiços



Fonte: Elaborado pelo autor / Apêndices A, B e C (CARVALHO, 2022). <[Original disponível](#)>

Com a aerofoto de 1970 foi observado que a área do espelho d'água da Lagoa Grande se estendia até aproximadamente 337 m além da estrada vicinal, provavelmente quartzosa, adentrando a parte central da bacia com características de áreas propícias a alagamentos, no percurso do curso de drenagem principal, consistindo em aspecto homogêneo.

Na década de 1970, com a construção da Rodovia do Sol, houve a obstrução parcial do fluxo superficial na área central da bacia, por meio estruturas longitudinais de concreto e aterros, para se estabelecer a elevação contínua da via, caracterizando-se em um dique que desmembrou o corpo d'água até então contínuo (Figuras 19 e 20), o que pode estar influenciando nos atributos de drenagem do canal principal e manutenção ecossistêmico local.

Figura 20 — Trecho da Rodovia ES-060 com função de dique.



Fonte: Elaborado pelo autor. 09/10/2022 <[Original disponível](#)>

Nota: <sup>1</sup> Talude de aterro da ES-060 no Km 24; <sup>2</sup> Dique longitudinal de concreto para contenção; Seta indica local do curso d'água principal e direção do fluxo.

A análise da imagem suborbital de 1990 apresenta os corpos d'água e alagadiços, fragmentados em 03 espelhos d'água a oeste da Rodovia do Sol e 01 a leste, a Lagoa Grande. A fragmentação dos corpos d'água, pode ter gerado mudança na dinâmica de infiltração e dos escoamentos, com a possibilidade, de parte do escoamento de base ter se dispersado para bacias adjacentes por consequência (SANTOS, 2019), já que novas lagoas foram formadas a montante, e a bacia ter solos com características de bem drenados (VISÃO AMBIENTAL, 2014), hipótese que pode ser uma realidade atual.

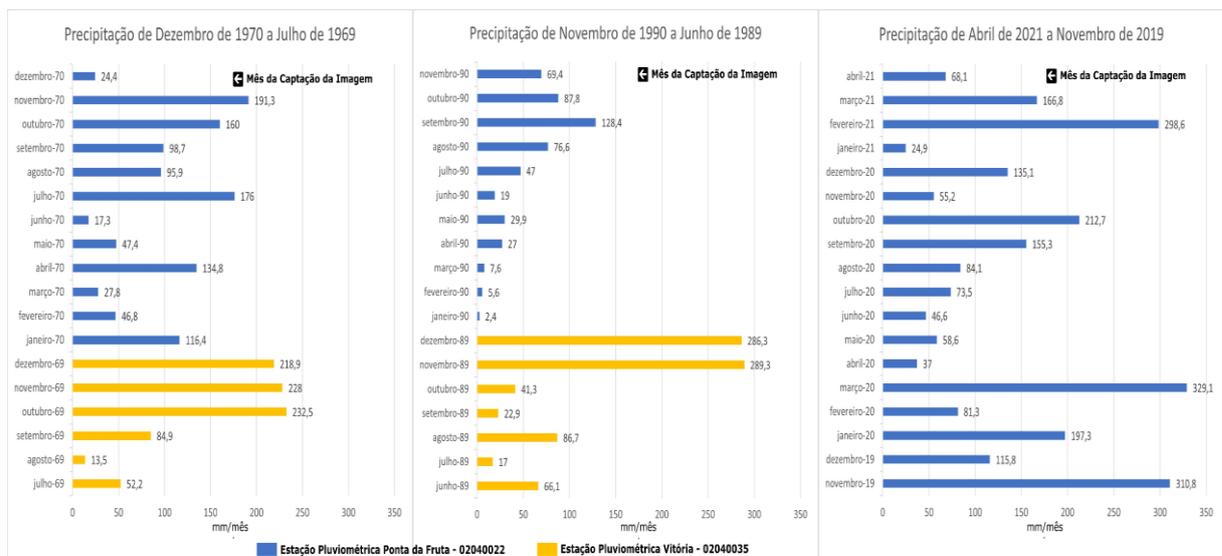
A área percentual de corpos d'água e alagadiços em relação à bacia, em 1990, encontra-se reduzida a 8,23%, podendo ser um sintoma da baixa precipitação total dos últimos 18 meses da captação da aerofoto (Tabela 5), registrada nas estações pluviométricas da Grande Vitória (Ponta da Fruta/código 02040022 e Vitória/código 02040035) (Gráfico 4). De qualquer forma, a redução destas áreas, influenciaram o

coeficiente C geral da bacia neste ano, de maneira que as feições de grama em solo arenoso ( $C_{med\ pond} = 0,091$  / Quadro 4) aumentaram em área, influenciando para menor o valor de  $C_{geral}$  em 1990.

Em 2021, nos 18 meses anteriores à captação da imagem orbital do mapeamento, a precipitação total na Grande Vitória foi elevada (Tabela 5), o que pode ter refletido no aumento da área do espelho d'água da Lagoa Grande e nos demais corpos d'água. Fato que foi constatado em 04 visitas a campo (03/07/2021, 18/09/2021, 12/10/2021 e 23/10/2021), em que foi observada vazão constante no exutório antropizado da bacia. Estima-se que, com o exutório da bacia a fluir para o mar sem obstruções e com o nível do espelho d'água no limite do diâmetro nominal da manilha de saída (800 mm), nesta situação, a área da Lagoa Grande se mantém com pouca variação, e a relação da área com o coeficiente de escoamento superficial mantém-se equilibrada.

Em análise às precipitações registradas nos 18 meses anteriores às captações das imagens aéreas (Gráfico 4 e Tabela 5), relacionadas com os mapeamentos de 1970, 1990 e 2021, das áreas dos corpos d'água e propensas a alagamentos, e observações visuais em campo, a precedência das estiagens sazonais, revela-se como o principal agente da redução do volume de água na Lagoa Grande.

**Gráfico 4 — Precipitações registradas nos 18 meses anteriores à captação da imagem aérea.**



Fonte: Dados das Estações pluviométricas Código 02040022 e 02040035 (ANA, 2022).

Nota: Elaborado pelo autor.

Tabela 5 — Precipitações das Estações pluviométricas Código 02040022 e 02040035

Precipitação (P) nos 18 meses anteriores à captação da imagem	
Período	P (mm)
Dezembro de 1970 a julho de 1969	1967
Novembro de 1990 a junho de 1989	1310
Abril de 2021 a novembro de 2019	2451

Fonte: ANA (2022) Nota: Elaborada pelo autor.

As áreas mapeadas das superfícies adotadas e seus respectivos coeficientes C, obtidos quando aplicado, por médias ponderadas com base na declividade e tipo de solo das feições, são apresentadas no Quadro 4, que revela de forma total estas relações encontradas na Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande.

Quadro 4 — Áreas das superfícies e coeficientes C relacionados.

Superfície	1970		1990		2021	
	Área (ha)	C	Área (ha)	C	Área (ha)	C
Edificações com poucas superfícies livres	0,000	**	0,000	**	1,682	0,600
Edificações com muitas superfícies livres	0,000	**	0,719	0,500	37,047	0,500
Subúrbios / arrabalde com alguma edificação	1,130	0,250	20,209	0,250	5,988	0,250
Florestas em solo arenoso	18,516	0,121	6,204	0,128	7,204	0,155
Florestas em solo argiloso	81,519	0,507	36,577	0,513	44,833	0,524
Terras cultivadas em solo arenoso	0,000	**	1,565	0,335	0,163	0,300
Terras cultivadas em solo argiloso	0,000	**	12,248	0,704	4,949	0,716
Pastagens e solo exposto arenoso	10,797	0,114	1,974	0,111	0,000	**
Pastagens e solo exposto argiloso	40,683	0,512	36,743	0,517	27,848	0,501
Asfalto	0,000	**	1,848	0,830	7,598	0,830
Concreto / Calçadas	0,000	**	0,208	0,840	1,849	0,840
Telhados preponderantes	0,000	**	0,140	0,850	1,073	0,850
Gramma / herbáceas em solo arenoso	6,205	0,090	22,535	0,091	8,393	0,087
Gramma / herbáceas em solo argiloso	4,777	0,204	23,048	0,205	14,896	0,186
Corpos d'água e alagadiços Oeste Rod. ES-060	1,856	1,000	2,786	1,000	1,745	1,000
Corpos d'água e alagadiços Leste Rod. ES-060	23,420	1,000	12,990	1,000	17,340	1,000
Reservas Hídricas estruturais	0,000	**	0,000	**	0,120	1,000
Estradas vicinais e de terra	2,714	0,850	11,823	0,850	8,889	0,850

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os coeficientes de escoamento superficial gerais ( $C_{\text{geral}}$ ), resultantes da ponderação dos dados do Quadro 4, encontrados para a bacia costeira da Lagoa Grande nos anos mapeados, a partir das relações com as variações de áreas e declividades das superfícies, tipos de solos predominantes e seus tipos de impermeabilizações, foram obtidos pela aplicação da Equação 5, e são os constantes na Tabela 6, que, utilizados para as estimativas hidrológicas, foram capazes de representar as possíveis variações

quantitativas que repercutem na dinâmica de escoamento da água das precipitações sobre a bacia e na estimativa do potencial de água para infiltração.

Tabela 6 — Coeficientes  $C_{\text{geral}}$  da Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande.

Coeficiente de Escoamento Superficial Geral ( $C_{\text{geral}}$ )	
Ano	$C_{\text{geral}}$ (adimensional)
1970	0,496
1990	0,458
2021	0,533

Fonte: Elaboração pelo autor.

Congruentemente era esperado que  $C_{\text{geral}}$  para o ano de 2021, sobressaísse aos anos anteriores, em decorrência do processo intenso de urbanização que se instalou na Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande nos 50 anos de mapeamento deste estudo, revérbero do aumento populacional de 311% em Vila Velha, segundo dados de estimativa do IBGE (2021) para 2021 (508655 habitantes) e da Prefeitura de Vila Velha (PVV, SEMPLA, 2020) para 1970 (123742 habitantes).

O valor de  $C_{\text{geral}}$  para o ano de 1990 (0,458), abaixo do valor de 1970 (0,496), supostamente seja devido o retorno da área total da Lagoa Grande, a valores anteriores a 1970, que, aumentaram as áreas com vegetação rasteira, de baixo coeficiente C, em seu entorno.

A menor área da Lagoa Grande (Figura 19), é reflexo da baixa precipitação total, no período de 18 meses anteriores a captação da aerofoto de 1990 (1310 mm), contanto, revela condições hipotéticas da naturalidade do sistema de drenagem presente antes de qualquer intervenção antrópica na bacia, em que a dinâmica das vazões pelo talvegue natural, parece tender a dirigir os fluxos do deflúvio total ao exutório original (UTM 24S/358736-7732864) evidenciado pela delimitação automática com o MDE Copernicus e o GRASS GIS (Figura 3).

Segundo Wilken, o coeficiente de escoamento superficial (C) é um coeficiente volumétrico que consiste na razão do volume escoado pela precipitação total (WILKEN, 1978), e sua aplicação neste estudo, resultou nas estimativas hidrológicas de volume do escoamento superficial e da chuva com potencial de infiltração nos anos mapeados, para as diferentes superfícies adotadas. Estimados a partir da obtenção

da intensidade média máxima de precipitação ( $i_m$ ) referencial de  $23,689 \text{ mm.h}^{-1}$ , calculada a partir da Equação 1, com período de retorno de 01 ano e dados de parâmetros de ajuste para a localização geográfica da bacia ( $K=4003,593$ ,  $a=0,203$ ,  $b=49,997$  e  $c=0,931$ ) obtidos por meio do programa Plúvio 2.1 (GPRH; UFV, 2005) constantes no Anexo 1, com a determinação do Tempo de concentração ( $t_c$ ) pela Equação de Giandotti, 3,286 horas.

Os resultados das estimativas hidrológicas apresentados a seguir, consistem em considerações descritas anteriormente, pautadas em períodos de estiagens com solo seco, hipoteticamente com altas tensões de sucção, alto gradiente hidráulico e alta capacidade de infiltração, nível altimétrico da Lagoa Grande na altura da borda inferior do diâmetro nominal da manilha de saída do exutório antropizado, e, sendo também, não contabilizadas as influências da interceptação pela vegetação e posterior evaporação. Desta forma, os resultados das estimativas de volume de água de chuva escoado e volume com potencial para infiltração, em cada superfície e ano, são os apresentados nos APÊNDICES E, F e G.

A Tabela 7 retrata os resultados apresentados nestes Apêndices, concentrados com a utilização dos coeficientes de escoamento gerais ( $C_{\text{geral}}$ ), ponderados para os anos 1970, 1990 e 2021, representando assim 01 único valor de coeficiente C para cada ano mapeado.

A aplicação da Equação 8, com os dados encontrados a partir das equações constantes na Tabela 7, apresenta as estimativas de água com potencial para infiltrar, resultante da lâmina de água referencial. Para o ano de 1970 e 1990, o volume é estimado em  $75176 \text{ m}^3$  e  $80844 \text{ m}^3$ , respectivamente, para eventos de precipitação intensa, com período de retorno de 01 ano e duração igual ao tempo de contribuição, sendo indícios do volume de infiltração nos solos da bacia costeira da Lagoa Grande, em relação aos coeficientes C dos anos em questão. No ano de mapeamento 2021, em que encontramos  $C_{\text{geral}}$  com valor superior (0,533), o volume potencial estimado para infiltração de água no solo, caiu para  $69657 \text{ m}^3$ , uma redução de 7,34% em relação ao volume de 1970, e de 13,84% em relação ao volume de 1990.

Desta forma, resulta em um indicativo influente dos processos de impermeabilização do solo na bacia e de redução significativa do montante potencial que a bacia retém

de água nos solos para condicionar o escoamento de base (WILKEN, 1978; SANTOS, 2019) após a cessação da precipitação e em tempos de estiagem.

Tabela 7 — Estimativas de volume escoado e volume potencial para infiltração.

Estimativas em um evento de Precipitação Intensa com Período de retorno de 01 ano						
Ano do Mapeamento	Área total da BH com corpos de água, em ha.	C geral (Média ponderada) Equação 5	$i_m$ referencial para o Período de Retorno de 01 ano (em mm.h <sup>-1</sup> ) Equação 2 Equação 1	Lâmina de água precipitada de referência ( litros/m <sup>2</sup> ) Equação 3	Volume escoado Equação 7	Volume com POTENCIAL para infiltração ( m <sup>3</sup> ) Equação 8
1970	191,617	0,496	23,689	77,842	73983	75176
1990	191,617	0,458	23,689	77,842	68315	80844
2021	191,617	0,533	23,689	77,842	79502	69657

Fonte: Elaborada pelo autor.

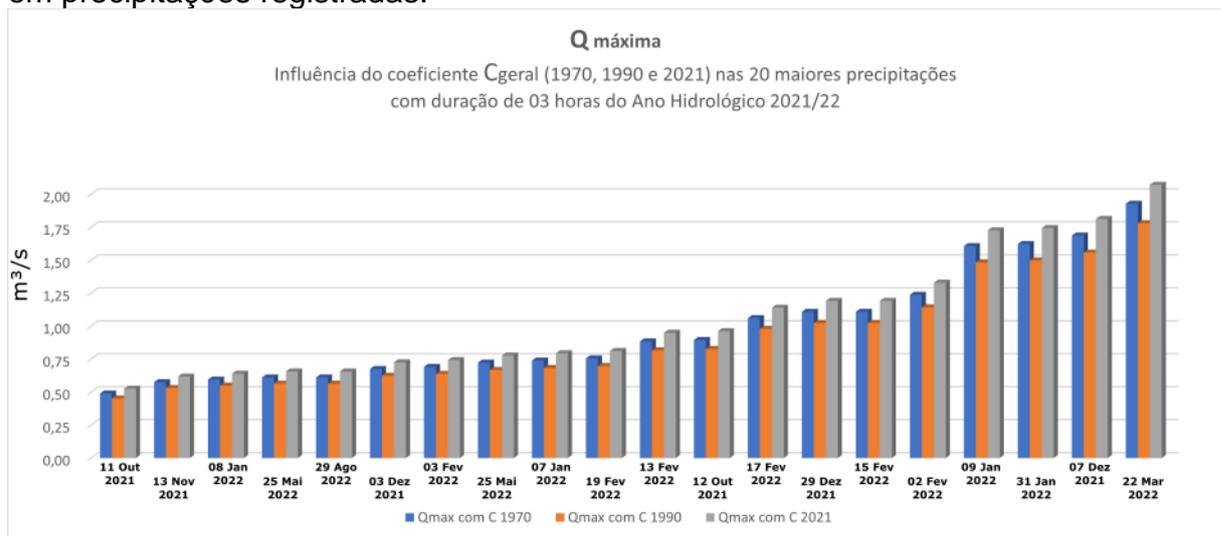
A Tabela 7 retrata ainda os volumes estimados de escoamento superficial para a bacia estudada, dadas as mesmas condições de precipitação do parágrafo anterior, de maneira que representa a mensuração fluviométrica da água que sai da bacia durante a precipitação de referência decorrente ao coeficiente  $C_{\text{geral}}$ . Nos anos de 1970 e 1990 é estimado volumes de saída por escoamento, de 73983 m<sup>3</sup> e 68315 m<sup>3</sup>, respectivamente, menores que, portanto, a 2021, que é estimado um fluxo de saída de 79502 m<sup>3</sup>, em decorrência da mesma precipitação referencial. Este valor é maior 7,46% em relação a 1970, e 16,37% maior que em 1990.

As estimativas de volume de água escoado para o exterior da bacia, refletem as mudanças na cobertura e no uso da terra, em que, pela mudança da dinâmica de infiltração nas superfícies, as águas tendem a sair em maiores quantidades pelo exutório da mesma, se deslocando ao mar, e deixando de cumprir papéis importantes na preservação da dinâmica ecológica do ambiente.

As quantificações de água com potencial para infiltrar nos solos e volume de água externalizado à bacia, compõem os resultados deste estudo, como agentes secundários responsáveis pela redução do volume de água na Lagoa Grande, reflexos das mudanças na cobertura e uso da terra na Bacia Hidrográfica da Lagoa Grande.

Wilken (1978, p.128), Santos (2019), Genz (1994, apud GERMANO,1997, p.19), desenvolveram estudos experimentais com base em hipóteses e, por meio de dados obtidos e supostos, estimaram diferentes variáveis entre parâmetros hidrológicos conhecidos e mensuráveis, de modo a enfatizar as relações entre escoamento superficial e de base, tempos de concentração, taxas e capacidades de infiltração e declividades com diferentes intensidades pluviométricas, de maneira que, neste estudo, por meio da aplicação do Método Racional (Equação 6), relacionamos e resultaram no Gráfico 5, a demonstração de como a variação de  $C_{\text{geral}}$ , consequente das mudanças na cobertura e uso da terra, tem a potencialidade de variar as estimativas de vazão máxima, com as diferentes precipitações totais registradas no ano hidrológico de 01 de outubro de 2021 a 30 de setembro de 2022 na Bacia Hidrográfica da Lagoa Grande.

Gráfico 5 — Estimativa da vazão máxima ( $Q_{\text{max}}$ ) - Demonstração da influência de C em precipitações registradas.



Fonte: Elaboração do autor.

Para a demonstração do efeito da variação de C em relação a eventos de precipitações na bacia costeira da Lagoa Grande, selecionamos os 20 maiores registros de precipitações com duração de 03 horas, com dados da estação pluviométrica do Inmet (A634). Em análise ao Gráfico 5, gerado a partir dos cálculos de  $Q_{\text{max}}$  e dados interrelacionados, a principal característica percebida foi que as vazões máximas estimadas com o coeficiente  $C_{\text{geral}}$  de 0,533 (ano 2021) aplicado com as 20 maiores precipitações totais e suas relativas  $i_m$ , sobressaíram às demais vazões máximas estimadas com os coeficientes de 1970 e 1990. Ainda, as estimativas de

vazões máximas com relação ao menor coeficiente  $C_{\text{geral}}$  encontrado (0,458 em 1990), demonstram valores menores que todas as demais vazões máximas. Estima-se desta forma a grande influência que o coeficiente de escoamento superficial tem sobre as diferentes precipitações na área deste estudo, podendo proporcionar aumento do deflúvio total e perdas significativas em relação ao potencial de contenção de água nos solos da bacia.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grande expansão populacional do município de Vila Velha de 1970 a 2021, fez com que a urbanização aumentasse as áreas impermeabilizadas. A região dos bairros Ponta da Fruta e Morro da Lagoa foi impactada, fato que justifica o questionamento da escassez hídrica na Lagoa Grande, ao se relacionar com base em variações hidrológicas potenciais à mudanças na cobertura e uso da terra.

Ante o exposto, a pesquisa deste estudo teve como objetivo principal, analisar se as mudanças na cobertura e uso da terra influenciam no potencial de infiltração de água no solo e na estimativa de escoamento superficial, impactando assim na capacidade de recarga hídrica da Lagoa Grande, durante os períodos de estiagem. De forma que, mediante os resultados apresentados, o objetivo principal foi atendido, sendo possível identificar os agentes impactantes na escassez hídrica da Lagoa Grande.

Quanto aos objetivos específicos, definimos e foi alcançado, a delimitação da área de contribuição da Lagoa Grande, para um preciso desenvolver do segundo objetivo específico, que consistia em analisar por meio de mapeamento, as mudanças na cobertura e uso da terra, e, relacionar e identificar as variações no coeficiente de escoamento superficial.

O terceiro objetivo específico consistia em realizar as estimativas hidrológicas para o volume de água escoada superficialmente e o volume com potencial para infiltrar, de forma que foram basicamente calculadas, proporcionando a ciência destes volumes na bacia.

O quarto objetivo previa a demonstração de como as variações de C podem influenciar na vazão máxima no exutório, com diferentes precipitações registradas, o qual por meio dos resultados pudemos observar certamente.

A hipótese da pesquisa partiu do princípio que as mudanças na cobertura e uso da terra, por meio dos processos de impermeabilização das superfícies, influenciam na dinâmica dos escoamentos da bacia, aumentando assim o volume de água que sai da mesma em eventos de precipitações intensas, e ainda, devido à impermeabilização, o volume com potencial para infiltrar nos solos, reduziria, impactando na recarga da Lagoa Grande nos períodos de estiagem com a redução

do fluxo subterrâneo, sendo potencial de degradação ambiental e altamente negativo aos atributos turísticos e socioeconômicos da comunidade dos bairros Ponta da Fruta e Morro da Lagoa.

Mediante os resultados obtidos, em meio às considerações que foram pautadas para este estudo, pelas estimações hidrológicas, a hipótese se confirma, tendo apresentado volumes maiores de escoamento superficial e volumes menores com potencial para infiltrar em relação ao mapeamento de 1970 e 2021, com coeficiente de escoamento superficial geral de 0,496 e 0,533, respectivamente. No entanto, consideramos a hipótese como um agente secundário para responder à escassez hídrica da Lagoa Grande, já que a análise das precipitações totais anteriores às captações das imagens fotointerpretadas e observações em visita a campo em 2021, demonstram que a estiagem sazonal na área de estudo, mostra-se como o agente principal da redução do nível do espelho d'água.

Para a metodologia, partimos do método científico hipotético-dedutivo, com pesquisa básica em diversos meios de divulgação de conhecimento, físicos, digitais e videoaulas, e utilização de metadados e imagens disponibilizadas por diferentes instituições. O método da fotoleitura, fotoanálise e fotointerpretação foi aplicado precisamente nos mapeamentos dos diferentes tipos de superfícies, e posteriormente relacionados com os tipos de solo e declividades para definição dos coeficientes *runoff*. As estimações hidrológicas foram quantificadas pelo método Racional, método de Giandotti e diversas equações hidrológicas. Por este conjunto foi possível alcançar os resultados.

Diante da metodologia proposta e aplicada, percebeu-se limitações que poderiam ser sanadas caso houvesse maior disponibilidade financeira ao projeto, dados mais específicos de pluviometria e dados fluviométricos.

Quanto às características físicas altimétricas da Bacia Hidrográfica costeira da Lagoa Grande, o MDE Copernicus utilizado neste estudo, disponibilizado pela *European Space Agency* (ESA), a partir da parceria com a missão TanDEM-X, tem uma resolução altimétrica de 30 m, e mostrou-se satisfatório ao desenvolvimento da metodologia.

De sorte, que traçamos recomendações para futuras pesquisas, que podem estar associadas a estudo do balanço hídrico no solo para a bacia, conjugado com a instalação de uma estação fluviométrica com linígrafos e medidores de velocidade, tensiômetros, pluviômetros, e outros sensoriais, poderiam detalhar a dinâmica do volume de água sobre o solo e subterraneamente em relação às precipitações e radiação solar recebidas, quantificando mais eficientemente as variáveis de escoamento superficial, infiltração, percolação profunda para os aquíferos, evapotranspiração, e mesmo, a ascensão capilar, que é conseqüente de grandes períodos de estiagem, quando a água dos aquíferos sobem pela porosidade do solo resultando em perda de umidade.

O escoamento de base em pequenas bacias hidrográficas é considerado baixo, no entanto, poderia ser apreciado em estudos hidrológicos futuros da bacia costeira da Lagoa Grande.

Desta forma, a utilização de outros métodos científicos, podem subsidiar futuras pesquisas na área de estudo para se adquirir parecer mais preciso quanto à escassez hídrica na Lagoa Grande.

## REFERÊNCIAS

A GAZETA. **Rodovia do Sol: A mais moderna e segura do Espírito Santo.** A GAZETA, Vitória-ES, ano 2000, 9 dez. 2000. Especial, p. 1-17.

ALMEIDA, Ricardo Venescau de Oliveira. **O que são Estradas Vicinais e qual a sua importância?**. INBEC Pós-graduação, [S. l.], n. 2<sup>a</sup>, p. 1, 25 jan. 2020. Disponível em : <https://inbec.com.br/blog/o-que-sao-estradas-vicinais-qual-sua-importancia> . Acesso em: 19 out. 2022.

ANA (Brasil). Oficina de Capacitação do Progestão; ALMEIDA, Leonardo de. **Hidrogeologia: Conceitos básicos.** Brasília, DF: Coordenação de águas subterrâneas, 2016. 68 p. E-book.

ANTONELI, V; THOMAZ, E.L. **Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR.** Rev. Caminhos da Geografia, Uberlândia, v.8, n.21, p46-58, jun. 2007.

ARAÚJO, Hélio Mário de; BEZERRA, Givaldo dos Santos; SOUZA, Acássia Cristina. **Hidrografia e Hidrogeologia: qualidade e disponibilidade de água para abastecimento humano na bacia costeira do rio Sergipe.** Universidade Federal do Sergipe, 2007. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/526/1/Hidrografia%20e%20hidrogeologia.pdf>

BASSO, Jonatan. **Compactação do solo.** Produção: AgroBrasil. [S. l.]: Google/Youtube, 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kburjqQxubl> . Acesso em: 30 nov. 2022.

BELMONTE, Ana M Camarasa; BELTRÁN, Francesca Segura. **Flood events in Mediterranean ephemeral streams (ramblas) in Valencia region, Spain.** CATENA, ScienceDirect, v. 45, ed. 3, p. 229-249, 2001. DOI [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00146-1](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00146-1) . Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816201001461#section-cited-by> . Acesso em: 6 dez. 2022.

BENDING SPOONS SPA (Global). Splice Video Editor Srl. **Remini: Realçador de Fotos IA.** Versão 2.7. ed. Milan, Italy, 2022. App para iPad e iPhone. Disponível em: App Store. Acesso em: 24 ago. 2022.

BOVI, Renata Cristina. **Gênese e cronologia de feições erosivas superficiais e subsuperficiais.** 2017. 162 p. Tese (Doutora em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2017. DOI 10.11606/T.11.2018.tde-04012018-144113. Disponível:[https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-04012018-144113/publico/Renata\\_Cristina\\_Bovi\\_versao\\_revisada.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-04012018-144113/publico/Renata_Cristina_Bovi_versao_revisada.pdf) . Acesso em: 9 dez. 2022.

BRASIL. **Código Florestal.** Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012.

BRASIL. Lei nº 10257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Estatuto da cidade**. Brasília, DF, p. 1-16, 10 jul. 2001.

BULHÕES, Eduardo. **Nível do Mar e Planícies Costeiras**. UFF - Geo Costeira, 2020. Acesso: <https://www.youtube.com/watch?v=7BN6b2qZSgk>

CARVALHO, Daniel Fonseca de; SILVA, Leonardo Duarte Batista da. **Hidrologia: Infiltração**. Seropédica-RJ: UFRRJ, Agosto de 2006. Apostila.

CARVALHO, Daniel Fonseca de; MELLO, Jorge L.P.; SILVA, Leonardo Duarte Batista da. **Hidrologia: IT 115 Irrigação e drenagem**. Seropédica-RJ: UFRRJ, Maio de 2007. Apostila.

CARVALHO, Sidinei Marques de. **Imagens da Bacia Hidrográfica Costeira da Lagoa Grande em Vila Velha, ES**: Fotografias e vídeos. Vitória-ES. Sidinei Marques de Carvalho, 2021/22. Figuras 1, 2, 4-A, 4-B, 5-C, 6-C, 10, 12-A, 12-B, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19. Monografia de Bacharelado em Geografia, UFES/CCHN, 2023. Disponível em: <https://1drv.ms/u/s!AvpIFoALdpoaisEeO1RtrCGKqaxcZA?e=bzweAN>

CARVALHO, Sidinei Marques de. **Mapas da Bacia Hidrográfica Costeira da Lagoa Grande em Vila Velha, ES**: Cobertura e uso da terra (1970, 1990 e 2021), Declividades, Localização, Geológico e Limites. Vitória-ES. Sidinei Marques de Carvalho, 2022. Mapas 1, 2, 3 e 4, e Apêndices A, B e C. Monografia de Bacharelado em Geografia, UFES/CCHN, 2023. Disponível em: [https://1drv.ms/u/s!AvpIFoALdpoaisEtYz-baLX\\_WAAH2Q?e=H98DZh](https://1drv.ms/u/s!AvpIFoALdpoaisEtYz-baLX_WAAH2Q?e=H98DZh)

COLLARES, E.G. **Avaliação de alterações em redes de drenagem de sub-bacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas**: aplicação na bacia hidrográfica do Rio Capivari-SP. 2000. 211p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

CONGRESSO BRASILEIRO DE SOCIOLOGIA, XVII., 2015, Porto Alegre. **Histórias de vida no resgate da história da ocupação do solo de Vila Velha (ES)** [...]. Porto Alegre, RS. NEUS/UVV, 2015. 20 p. Tema: Memória e Sociedade.

COPERNICUS, ESA. **Copernicus Space Components Data Access (CSCDA)**. 2022. Acesso em <https://cdsportal.copernicus.eu/web/spdm/home> .

COUTO, Bruno de Oliveira Costa. **CAPACIDADE de infiltração**: A Equação de Horton e a Evolução do Perfil de Umidade. Produção: Prof. Bruno de Oliveira Costa Couto. Brasil: Youtube, 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=diTnpxCPwvE&t=137s> . Acesso em: 7 dez. 2022.

CPRM; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (Brasil). **Mapa Geológico do Estado do Espírito Santo**. Belo Horizonte - MG: CPRM, 2018. N/a. Escala 1:400.000. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/15564?show=full> . Acesso em: 13 set. 2022.

ENVIRONMENTAL INFORMATICS GROUP (Global); GEOLOGICAL SURVEY OF QUEENSLAND (Global). **Interactive International Chronostratigraphic Chart** [S. l.]: Jake Hashim-Jones, 2020. Disponível em: <https://stratigraphy.org/timescale/> . Acesso em: 16 nov. 2022.

Embrapa. **Levantamento de solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da microbacia Janela das Andorinhas, no município de Nova Friburgo, RJ / Braz Calderano Filho... [et al.]**. - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 52 p..- (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; nº 27)

EMBRAPA (Brasil); ZARONI, Maria José; SANTOS, Humberto Gonçalves dos. **Solos tropicais: Plintossolos - Ambientes de ocorrência**. Embrapa, 9 dez. 2021. Disponível:<https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/plintossolos> . Acesso em: 9 dez. 2022.

FORINI, Henrique Almeida; MARCHEZINI, Victor. **Prevenir e enfrentar: um estudo sociológico sobre o cumprimento dos preceitos da campanha 'Cidades Resilientes a Desastres' no Município de Araraquara-SP**. In: MAGNONI JÚNIOR, Lourenço *et al.* Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano. 2ª. ed. São Paulo: [s. n.], 2020. p.489-504. ISBN 978-65-87877-12-9. recurso eletrônico.

GARMIN, International Inc. **Manual do proprietário eTrex H – navegador pessoal**. Nº de referência 190-00818-34 Rev.B. Taiwan, 2007. Disponível em: [http://static.garmin.com/pumac/eTrexH\\_PTManualdoproprietario.pdf](http://static.garmin.com/pumac/eTrexH_PTManualdoproprietario.pdf) .

GEOBASES. IJSN. Governo do Estado do Espírito Santo. **Ortofotos/Imageamento ES 2019-2020**. 2022. Disponível em: <https://geobases.es.gov.br/downloads>

GERMANO, Andréa de Oliveira. **Estimativa de parâmetros hidrológicos em algumas bacias urbanas brasileiras**. 1997. 175 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1997.

GOMES, A. H. P.; TROLLES, J. de O.; NASCIMENTO, E. A. do. **Recarga artificial do lençol freático como controle dos impactos da urbanização na bacia hidrográfica**. 2004. Águas Subterrâneas, Recuperado de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23612>

GOOGLE, Inc; MAXAR; Technologies (ed.). Google Earth Pro. *In: Mapa base global ortoretificado*. Pro. [S. l.]: Google, 17 abr. 2021. Disponível em: <https://earth.google.com/web/> . Acesso em: 22 set. 2022.

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (Brasil). Instituto Jones dos Santos Neves; MAPLAN AEROLEVANTAMENTOS (Brasil). **Foto aérea do Município de Vila Velha: Códigos 03-1196/1224/1226**. Vitória-ES: IJSN, 1990. Papel fotográfico. Escala 1:8.000.

GPRH - Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos. Universidade Federal de Viçosa. In: UFV (Viçosa). **Plúvio: Parâmetros da Equação de Intensidade, Duração e**

**Frequência da Precipitação.** Versão 2.1. Viçosa: GPRH, 2005. Disponível em: <http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares> . Acesso em: 11 out. 2022.

HAWKINS, Richard H. **Asymptotic Determination of Runoff Curve Numbers from Data.** Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1993. P 334-345. V 119.

Acesso: <https://ascelibrary.org/>

IBGE, Fundação. MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL (Brasil). **Censo Demográfico Brasil: VIII Recenseamento Geral - 1970.** Departamento de Censos, Rio de Janeiro (GB), v. I, 1 jun. 1973. Série Nacional, p. 1-331. Disponível em:

[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/69/cd\\_1970\\_v1\\_br.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/69/cd_1970_v1_br.pdf) . Acesso em: 24 nov. 2022.

IBGE (ed.). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. MINISTÉRIO DA ECONOMIA (Brasil). **Censo demográfico 1940-2010. Até 1970 dados extraídos de:** Estatísticas do século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2007 no Anuário Estatístico do Brasil, 1981, vol. 42, 1979. Disponível em:

<https://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP122> . Acesso em: 24 nov. 2022.

IBGE (Brasil). **Manual Técnico da Vegetação Brasileira.** 2ª. ed. rev. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p. ISBN 978-85-240-4272-0.

IBGE (ed.). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. MINISTÉRIO DA ECONOMIA (Brasil). **Censo Agropecuário - Indicadores Municipais. Mapas Interativos,** 2017, <https://mapasinterativos.ibge.gov.br/agrocompara/> . Acesso 23 novembro 2022.

IBGE (ed.). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. MINISTÉRIO DA ECONOMIA (Brasil). **Vila Velha, ES: População.** Brasil: IBGE, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/vila-velha/panorama> . Acesso em: 27 nov. 2022.

INCAPER, Espírito Santo, Secretaria de Estado do Planejamento. **“Clima dos Municípios.”** Incaper, SEPLAN, 1999. Disponível em <https://meteorologia.incaper.es.gov.br/clima-dos-municipios> . Acesso: Novembro 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ (Brasil). Grupo de Erradicação e Racionalização da Cafeicultura; GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (Brasil). GEOBASES. **Fotografia aérea de Ponta da Fruta - Vila Velha - ES:** ES - 01 - 6710. 218. ed. Vitória-ES: IJSN, 1970. Escala 1:25.000. 3850 m. Disponível em: <https://geobases.es.gov.br/imagens-es-ibc-gerca-1970> . Acesso em: 10 nov. 2021.

JHA, Abhas K; THE WORLD BANK (Global); BLOCH, Robin; LAMOND, Jessica. **Cidades e Inundações, Um guia para a Gestão Integrada do Risco de Inundação Urbana para o Século XXI:** Um Resumo para os Formuladores de Políticas. 1ª. ed. Washington, DC: Clearance Center Inc., 2012. 54 p.

KOBIYAMA, Masato; MENDONÇA, Magaly; MORENO, Davis Anderson; MARCELINO, Isabela P. V. de Oliveira; MARCELINO, Emerson V.; GONÇALVES, Edson F.; BRAZETTI, Leticia Luiza Penteado; GOERL, Roberto Fabris; MOLLERI, Gustavo Souto Fontes; RUDORFF, Frederico de Moraes. **Prevenções de desastres naturais: Conceitos básicos**. Florianópolis: Ed. Organic Trading, 2006. 109p.

LABMAR - Meio ambiente e Geologia marinha. **Levantamento batimétrico da Lagoa Grande, Vila Velha-ES**. Vila Velha, 22 setembro 2014, p. 10.

LANZER, R.M.; RAMOS, B.V.C.; MARCHETT, C.A. **Impactos ambientais do turismo em lagoas costeiras do Rio Grande do Sul**. In: Caderno Virtual de Turismo. Rio de Janeiro, v. 13, nº. 1, 2013, p.134-149. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1154/115426219009.pdf> .

LIMA, Walter de Paula. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2ª. ed. Piracicaba, SP: USP, BR, 2008. 253 p. E-book.

LISBOA, Henrique de Melo. **Princípios de Hidrologia**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. 2022. Acesso: <http://neagua.ufsc.br/Cursos>

MAGALHÃES JÚNIOR, Antônio Pereira; BARROS, Luiz Fernando de Paula. **Hidrogeomorfologia: Formas, processos e registros sedimentares fluviais**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020. 417 p. ISBN 978-85-286-2454-0.

MAGNONI JÚNIOR, Lourenço; MAGNONI, Maria da Graça Mello. **Prevenir e antecipar para não remediar: o ensino de geografia, a redução do risco de desastres e a resiliência no mundo globalizado**. In: MAGNONI JÚNIOR, Lourenço *et al.* Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano. 2ª. ed. São Paulo: [s. n.], 2020. p. 76-100. ISBN 978-65-87877-12-9. recurso eletrônico.

SAKAMOTO, Susana Marilu Mainini, MAGNONI JUNIOR, Lourenço. **O Ensino da Geografia pautado nas Relações entre a Sociedade e a Natureza: Reflexões sobre crise socioambiental e desastres naturais**. In: MAGNONI JÚNIOR, Lourenço *et al.* Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano. 2ª. ed. São Paulo: [s. n.], 2020. p. 744. ISBN 978-65-87877-12-9. recurso eletrônico.

MARCHIORO, Eberval; ANDRADE, Edilene E.; OLIVEIRA, João Carlos. **Evolução espaço-temporal de voçorocas no Espírito Santo: estudo de caso nos municípios de Afonso Cláudio e Alegre**. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, SP, v. 17, n. 1, p. 191-204, 2016. DOI 10.20502/rbg.v17i1.712. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/712/528> . Acesso em: 9 dez. 2022.

MARTINS, Lorraine Campos. **Vazão Máxima em Pequena Bacia Hidrográfica Parcialmente Urbanizada em Uberlândia – MG**. Dissertação. Uberlândia, 2017. Disponível em <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/18395/1/VazaoMaximaPequena.pdf>>

MASSELINK, Gerhard; HUGHES, Michael. **An Introduction to Coastal Processes and Geomorphology**. Hodder Education. 2003.

MOLINARI, Deivison Carvalho, e VIEIRA, Antonio Fábio. “**Considerações Preliminares sobre a Capacidade de Infiltração de Água no Solo no Distrito Industrial II Manaus.**” I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia, 2004.

MOTA, Aline de Almeida. **Tempo de concentração em pequena bacia experimental**. 2012. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MOURA, Adriano dos Santos. **Hidrofobicidade em solos arenosos e argilosos sob diferentes usos na região semiárida de Pernambuco**. 2018. 55 f. Dissertação (Mestre em Produção Agrícolas) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, [S. l.], 2018. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/8012> . Acesso em: 6 dez. 2022.

MOURA-LIMA, Elissandra Nascimento *et al.* **Sedimentação e Deformação Tectônica Cenozóicas na Porção Central da Bacia Potiguar**. Revista do Instituto de Geociências, São Paulo, SP, v. 10, n. 1, 1 mar. 2010. Geologia Série Científica USP, p. 15-28. Disponível em: [www.igc.usp.br/geologiausp](http://www.igc.usp.br/geologiausp) . Acesso em: 30 nov. 2022.

OGS, Open Geospatial Consortium. **GeoPackage**. 2022. Acesso: <http://www.geopackage.org/> .

OKACOM. **Comissão Permanente de Água da Bacia Hidrográfica do Rio Okavango**. Gaborone, Botsuana, 2022. Disponível em: <https://www.okacom.org/> . Acesso em: 2 dez. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (Global). **Perspectiva Global Reportagens Humanas**. In: ONU NEWS. **População mundial atinge 8 bilhões de pessoas**. Nova Iorque, EUA, 15 nov. 2022. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/11/1805342> . Acesso em: 30 nov. 2022.

PAIVA, Rodrigo. **Processos de Geração de Escoamento 4 - Subsuperficial e Subterrâneo**. Produção: Rodrigo Paiva. Rio Grande do Sul: Youtube, 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=orl0KblBKW0&t=334s> . Acesso em: 5 dez. 2022.

PORTO, Rubem La Laina. Hidrologia Aplicada. In: PORTO, Rubem La Laina *et al.* **Escoamento Superficial: Análise do Hidrograma Unitário**. PHD-307. ed. São Paulo, SP: USP, BR, 1999. p. 1-47.

PRUSKI, Fernando Falco *et al.* **Escoamento Superficial**. 1. ed. Viçosa, MG: UFV, 2003. 87 p. ISBN 978-85-7269-154-3.

PUC Goiás. “**Infiltração.**” Apostila de *Hidrologia Aplicada*, vol. CIV 226, p. 8. 2022.

RAMOS, Elisabeth Christmann. **Educação Ambiental: Evolução Histórica, Implicações Teóricas e Sociais. Uma Avaliação Crítica.** 1996, Curitiba, PR, Disponível em < <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/> >.

ROBAINA, L. E. S.; KORMANN, T. C.; WIGGERS, M. M.; SCCOTI, A.A. V. **Análise espaço-temporal das ocorrências de inundações e movimentos de massa no município de Caxias do Sul, RS.** *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 159-172, 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/9504/5653> . Acesso em: 18 de nov. de 2022.

ROLIM, Samir Gonçalves; MENEZES, Luis Fernando Tavares de; SRBEK-ARAUJO, Ana Carolina (Editores). **Floresta Atlântica de Tabuleiro: diversidade e endemismos na Reserva Natural Vale.** Belo Horizonte. 2016. 496p.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção.** São Paulo: Hucitec. 1996

SANTOS, Alexandre Rosa dos. **“Aula 31 - Fotointerpretação Parte 06: Fotointerpretando Feições Poligonais no QGIS.”** YouTube, 14 Novembro 2019, <https://www.youtube.com/watch?v=lvWBlu49d8w> . Acesso em Outubro de 2022.

SANTOS, Camyla Innocente do. **Estrutura da paisagem e padrões de escoamento de base em uma bacia costeira.** 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

SANTOS, Irani dos. **Modelagem geobiohidrológica como ferramenta no planejamento ambiental: estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno, São José dos Pinhais - PR.** 2001. 109 p. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2001.

SIEFERT, Cesar Augusto Crovador; SANTOS, Irani dos. **Mecanismos de geração de escoamento e áreas hidrologicamente sensíveis: uma abordagem hidrogeomorfológica para delimitação de áreas de preservação permanente.** *RA'EGA*, Curitiba, PR, n. 24, p. 227-257, 13 fev. 2012. Disponível em: [www.geografia.ufpr.br/raega/](http://www.geografia.ufpr.br/raega/) . Acesso em: 9 dez. 2022.

SIGUEL, Alyne. **“Delimitação de Bacia hidrográfica no QGIS indicando o exutório!”** Youtube, 14/04/2021. Acesso em <https://www.youtube.com/watch?v=VRn1BnbSB0g&t=1805s> .

SIGUEL, Alyne. **“Como fazer um mapa de Declividade no QGIS.”** *YouTube*, 02 Outubro 2020, <https://www.youtube.com/watch?v=LcvVLohzrFs&t=1312s> . Acesso 10 Outubro 2022.

SILVA, George do Espírito Santo *et al.*. **Avaliação do potencial da recarga artificial através de águas pluviais para recuperação da potenciometria de aquífero costeiro na planície, Recife-PE.** XIII Congresso de Águas Subterrâneas,

2004 (1). Disponível em:

<https://aquassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23360> .

SILVA, Sandra Fernandes da; MACHADO, Marceley Ferreira. **Geodiversidade do estado do Espírito Santo**. Organização: Sandra Fernandes da Silva e Marceley Ferreira Machado. – Belo Horizonte. CPRM, 2014. 120 p.

SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA URBANA, XVI., 2019, Teatro da UFES e CCHN. **A auto-segregação espacializada: o surgimento de grandes condomínios fechados em Vila Velha - ES [...]**. Vitória-ES: [s. n.], 2019. 15 p. Tema: Produção do espaço urbano numa perspectiva crítica. Lorenzo Gonçalves Valfré; Gabriela Leal Rios. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/simpurb2019/article/view/26815> . Acesso em: 28 nov. 2022.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. **Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia**. Notícia Geomorfológica, v.16, n. 32, p. 71-104, 1976.

SOARES FILHO, Britaldo Silveira. **Interpretação de Imagens da Terra**. Curso de Especialização em Geoprocessamento. Minas Gerais: [s. n.], 2000. 19 p. Disponível em: <http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/intimagem.pdf> . Acesso em: 29 set. 2022.

SOLERA, Maria Lucia; MACHADO, Aline Ribeiro Machado; SOUZA, Caroline Almeida; VELASCO, Giuliana Del Nero; LONGO, Mariana Hortelani Carneseca; IKEMATSU, Priscila; AMARAL, Raquel Dias de Aguiar Moraes. **Infraestrutura verde: alternativa para a criação de cidades resilientes e sustentáveis**. In: MAGNONI JÚNIOR, Lourenço *et al.* Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano. 2ª. ed. São Paulo: [s. n.], 2020. p.841-854. ISBN 978-65-87877-12-9. recurso eletrônico.

SPAMLab IEE-USP. **Copernicus DEM - como baixar e qual baixar (DTED ou DGED?)**. YouTube, 01/12/2021. Acesso em <https://www.youtube.com/watch?v=1giv7vpxhc&t=1033s> .

TEIXEIRA, Wilson; FAIRCHILD, Thomas Rich; TOLEDO, M. Cristina Motta de; TAIOLI, Fabio. **Decifrando a Terra**. 2ª. ed. São Paulo, SP: Companhia Editora Nacional, 2009. 557 p. v. 3. ISBN 978-85-04-01439-6.

TEODORO, Valter Luiz Iost; TEIXEIRA, Denilson; COSTA, Daniel Jadyr Leite; FULLER, Beatriz Buda. **“O Conceito De Bacia Hidrográfica E A Importância Da Caracterização Morfométrica Para O Entendimento Da Dinâmica Ambiental Local.”** 20 ed., Revista UNIARA, 2007, pp. 137-156.

TONELLO, Kelly Cristina. **Análise hidroambiental da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. Orientador: Prof. Herly Carlos Teixeira Dias. 2005. 85 p. Tese (Magister Scientiae) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

TOMAZ, Plínio. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais, Comercial**. São Paulo: Hermano e Bugelli, 2002. 475p.

TOMAZ, Plínio. **Curso de Manejo de Águas Pluviais, Capítulo 2 – Método Racional**. 2012. Disponível em: [https://909d9be6-f6f1-4d9c-8ac9-115276d6aa55.filesusr.com/ugd/0573a5\\_6dfba4c4d51349aaa4913f70ab7f062c.pdf?index=true](https://909d9be6-f6f1-4d9c-8ac9-115276d6aa55.filesusr.com/ugd/0573a5_6dfba4c4d51349aaa4913f70ab7f062c.pdf?index=true) . Acesso em 29 de outubro de 2022.

TUCCI, C. E. M. **Coefficiente de escoamento e vazão máxima das bacias urbanas**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.5, n.1, p.61-68, jan/mar, 2000.

UFRRJ. **Escoamento superficial**. Seropédica-RJ: UFRRJ, Pós-graduação. Acesso em: 1 out. 2022. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/daniel/Downloads/Material/Pos-graduacao/Manejo%20e%20conservacao%20do%20solo%20e%20da%20agua/manejo%20e%20conservacao%20-%20parte%203.pdf> .

UNIVERSIDADE DO ALGARVE (Portugal). Soluções de Gestão de Recarga de Aquíferos. Faro, Portugal: UAlg, 9 fev. 2022. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=5x\\_r1Jvg98E](https://www.youtube.com/watch?v=5x_r1Jvg98E) . Acesso em: 10 dez. 2022.

VILA VELHA, PREFEITURA DE. **Ata da 4ª Reunião Ordinária 2022**. Conselho da APA Lagoa Grande. Vila Velha, ES. Julho, 2022.

VILA VELHA, PREFEITURA DE. **Decreto nº 46, de 07 de junho de 2006. Cria a Área de Proteção da Lagoa Grande**. Diário Oficial do Município de Vila Velha. Vila Velha, ES, 07 jun. 2006.

VILA VELHA, PREFEITURA DE. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico. **Plano Municipal de Turismo de Vila Velha**. Vila Velha, ES. 2020.

VILA VELHA, PREFEITURA DE. **Proposta de Nova Divisão de Regiões Administrativas**. Consulta Pública do Município de Vila Velha. Vila Velha, ES. Maio, 2022.

VILA VELHA, PREFEITURA DE. Secretaria Municipal de Planejamento. **Vila Velha em números - Perfil Demográfico**. Vila Velha, ES. 2020.

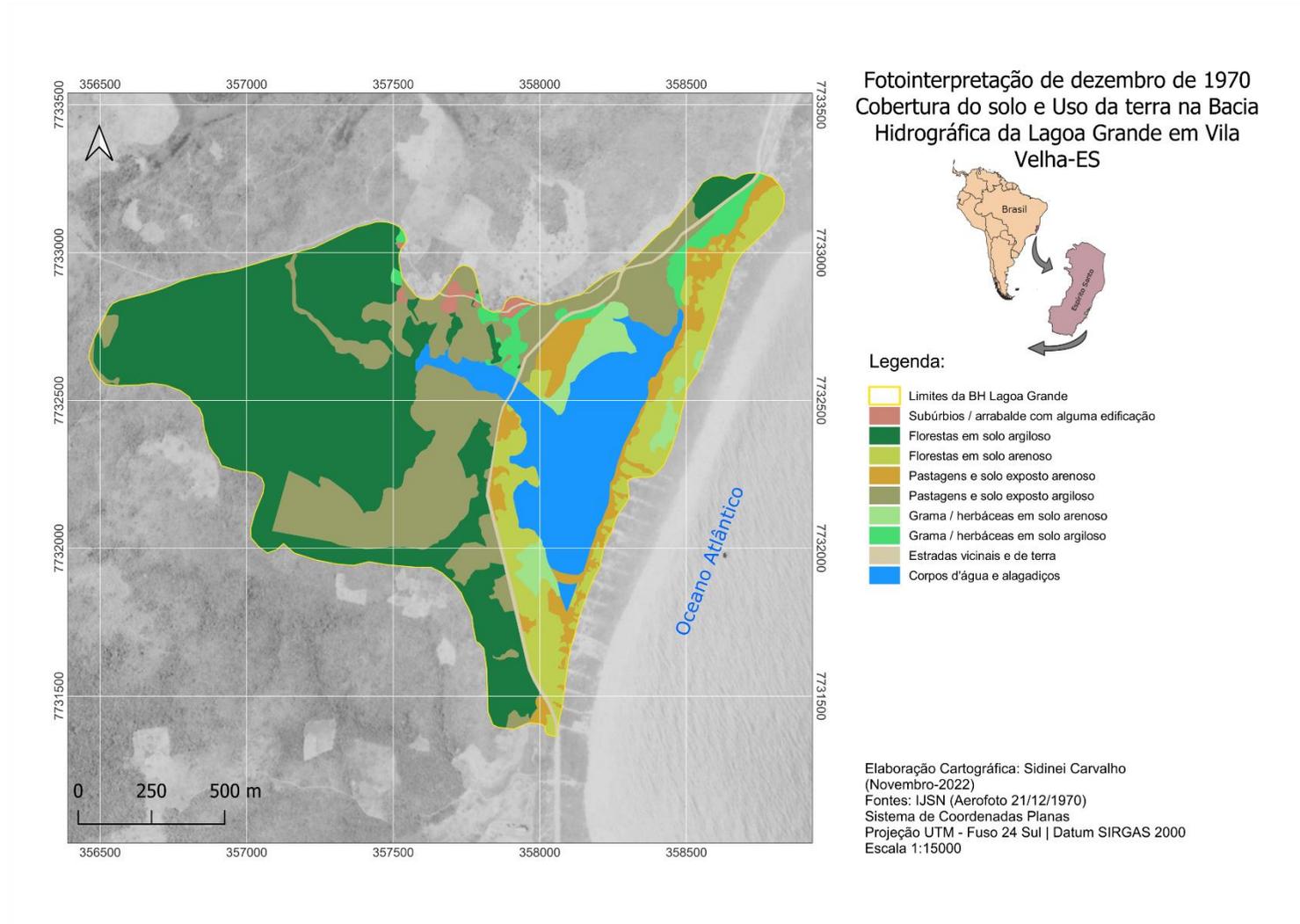
VILLELA, S.M. e MATTOS, A.. **Hidrologia Aplicada**. McGraw-Hill, São Paulo - SP, 1975.

VISÃO AMBIENTAL; Prefeitura de Vila Velha. **Plano de Manejo da APA da Lagoa Grande**. Vila Velha, 2014, p. 396. 3 vols.

WILKEN, P.S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978. 477 p.

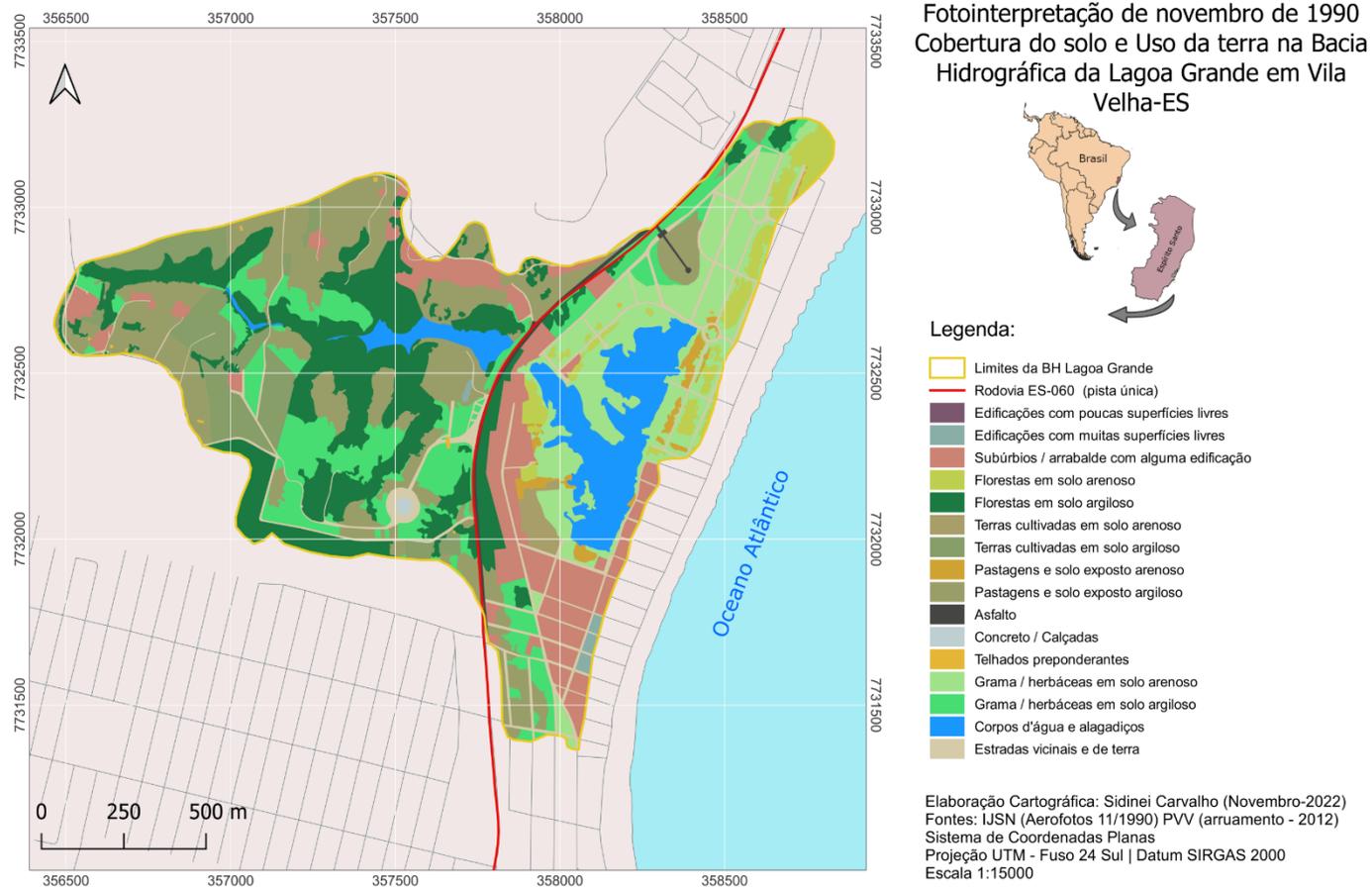
## APÊNDICES

### Apêndice A — Cobertura e uso da terra em 1970 na BH Lagoa Grande



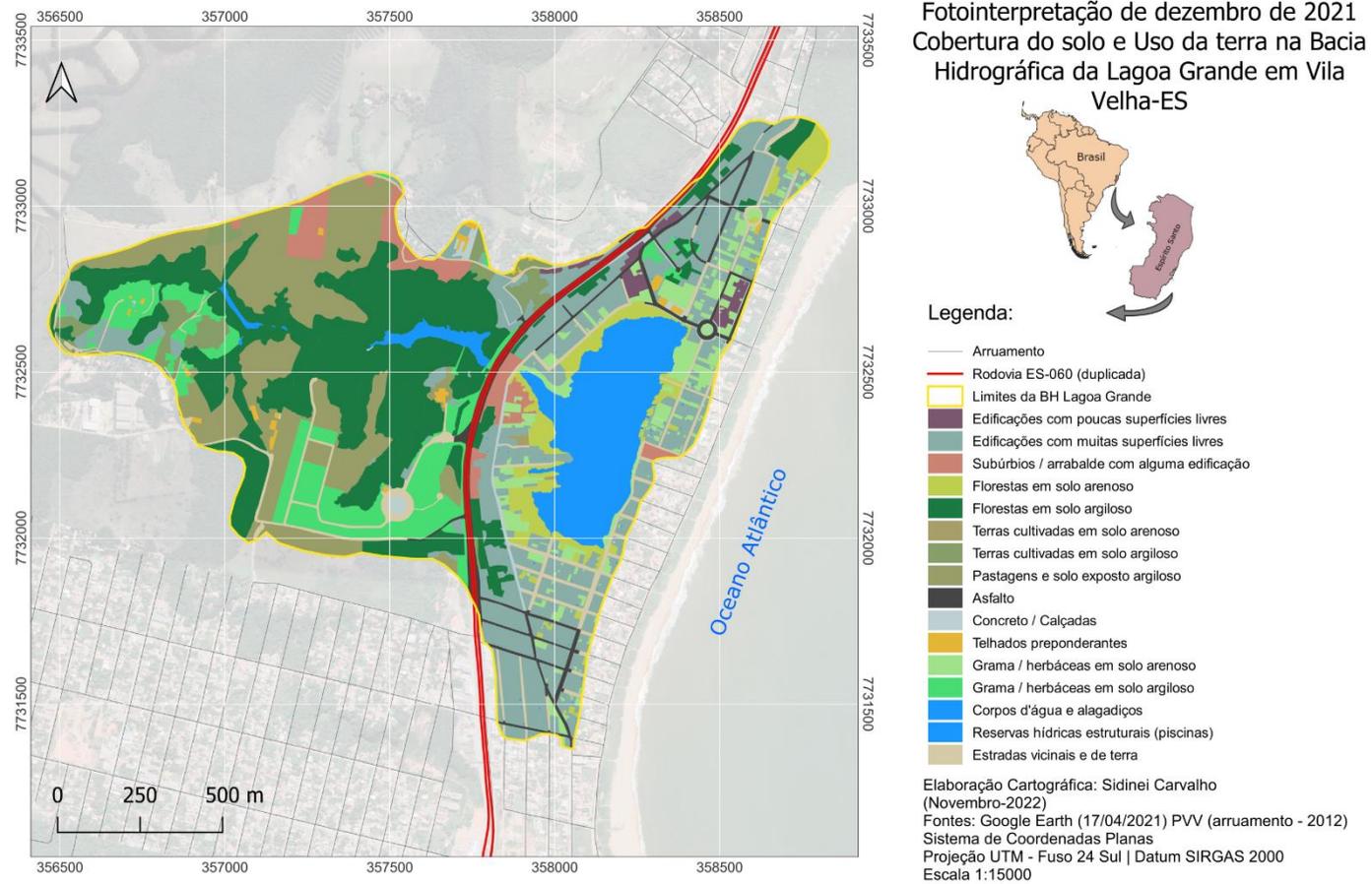
Fonte: Elaborado pelo autor. (CARVALHO, 2022) <[Original disponível](#)>

## Apêndice B — Cobertura e uso da terra em 1990 na BH Lagoa Grande



Fonte: Elaborado pelo autor. (CARVALHO, 2022) <Original disponível>

## Apêndice C — Cobertura e uso da terra em 2021 na BH Lagoa Grande.



Fonte: Elaborado pelo autor. (CARVALHO, 2022) <[Original disponível](#)>

APÊNDICE D – Coeficientes de escoamento superficial (“runoff”) relacionados com a cobertura do solo e uso da terra na Bacia Hidrográfica da Lagoa Grande.

(continua)

CLASSES DE SUPERFÍCIES	DECLIVIDADE *	INTERVALO	SOLO ARENOSO	SOLO ARGILOSO	VALOR APLICADO DA TABELA	Referências (Fontes)	1970		1990		2020	
							Área total da classe, por * Declividade (ha)	C da Classe (* Média ponderada)	Área total da classe, por * Declividade (ha)	C da Classe (* Média ponderada)	Área total da classe, por * Declividade (ha)	C da Classe (* Média ponderada)
Edificações com poucas superfícies livres: Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas.		0,50 - 0,60			0,60	Tabela 2, de valores de C usados pela Prefeitura de São Paulo, pelo critério de Fruhling.	0,000	**	0,000	**	1,682	0,600
		0,25 - 0,50			0,50		0,000	**	0,719	0,50	37,0471	0,500
		0,10 - 0,25			0,25		1,1295	0,250	20,209	0,250	5,9877	0,250
Florestas Solo Arenoso	0 - 5		0,10		0,10	Tabela 3, de valores definidos para O Coeficiente de	15,962	0,121	5,059	0,128	4,631	0,155
	5 - 10		0,25		0,25		2,463		1,145		2,367	

(continuação)

	10 - 30		0,30		0,30	Escoamento Superficial pelo USDA.	0,091		0,0		0,206	
Florestas Solo Argiloso	0 - 5			0,40	0,40	Tabela 3, de valores definidos para O Coeficiente de Escoamento Superficial pelo USDA.	27,442	0,507	11,892	0,513	10,493	0,524
	5 - 10			0,50	0,50		20,985		7,928		12,973	
	10 - 30			0,60	0,60		33,092		16,757		21,367	
Terras cultivadas Solo Arenoso	0 - 5		0,30		0,30		0,00	**	1,013	0,335	0,163	0,300
	5 - 10		0,40		0,40		0,00		0,552		0,000	
	10 - 30		0,50		0,50		0,00		0,00		0,000	
Terras cultivadas Solo Argiloso	0 - 5			0,60	0,60		0,00	**	4,627	0,704	1,451	0,716
	5 - 10			0,70	0,70		0,00		2,540		1,280	
	10 - 30			0,80	0,80		0,00		5,081		2,218	
Pastagens e solo exposto Arenoso	0 - 5		0,10		0,10		8,144	0,114	1,615	0,111	0,000	**
	5 - 10		0,15		0,15		2,196		0,269		0,000	
	10 - 30		0,20		0,20		0,458		0,090		0,000	
Pastagens e solo exposto Argiloso	0 - 5			0,40	0,40		15,267	0,512	12,600	0,517	12,178	0,501
	5 - 10			0,55	0,55		10,148		10,309		6,447	
	10 - 30			0,60	0,60		15,268		13,834		9,223	
Asfalto		0,70 - 0,95			0,83 Valor esperado	0,00	**	1,848	0,830	7,598	0,830	
Concreto / Calçadas		0,80 - 0,95		0,88	0,84	Tabela 1, de valores definidos para C pela American Society of Civil Engineers (ASCE).	0,00	**	0,208	0,840	1,849	0,840
		0,75 - 0,85		0,80	Média aritmética dos valores esperados							

(conclusa)

Telhado		0,75 - 0,95			<b>0,85</b> Valor esperado		<b>0,00</b>	<b>**</b>	<b>0,140</b>	<b>0,85</b>	<b>1,073</b>	<b>0,85</b>
Grama / Herbáceas Solo Arenoso	Plano 2%		0,05 - 0,10		<b>0,05</b>	Tabela 1, de valores definidos para C pela <i>American Society of Civil Engineers</i> (ASCE).	<b>1,923</b>	<b>0,090</b>	<b>6,622</b>	<b>0,091</b>	<b>2,770</b>	<b>0,087</b>
	Médio 2 a 7%		0,10 - 0,15		<b>0,10</b>		<b>3,583</b>		<b>13,343</b>		<b>4,952</b>	
	Alta 7%		0,15 - 0,20		<b>0,15</b>		<b>0,699</b>		<b>2,570</b>		<b>0,671</b>	
Grama / Herbáceas Solo Argiloso	Plano 2%		0,13 - 0,17		<b>0,13</b>		<b>0,265</b>	<b>0,204</b>	<b>3,941</b>	<b>0,205</b>	<b>4,401</b>	<b>0,186</b>
	Médio 2 a 7%		0,18 - 0,22		<b>0,18</b>		<b>2,654</b>		<b>8,054</b>		<b>6,094</b>	
	Alta 7%		0,25 - 0,35		<b>0,25</b>		<b>1,858</b>		<b>11,053</b>		<b>4,401</b>	
Corpos d'água e alagadiços oeste Rod. ES-060					<b>1,00</b>	<b>1,856</b>	<b>1,00</b>	<b>2,786</b>	<b>1,00</b>	<b>1,745</b>	<b>1,00</b>	
Corpos d'água e alagadiços Leste Rod. ES-060					<b>1,00</b>	<b>23,420</b>	<b>1,00</b>	<b>12,99</b>	<b>1,00</b>	<b>17,340</b>	<b>1,00</b>	
Reservas Hídricas estruturais					<b>1,00</b>	<b>0,000</b>	<b>**</b>	<b>0,000</b>	<b>**</b>	<b>0,120</b>	<b>1,00</b>	
Estradas vicinais e de terra					<b>0,85</b>	<a href="https://www.researchgate.net/figure/Runoff-coefficient-Component-of-road_tbl1_331036462">https://www.researchgate.net/figure/Runoff-coefficient-Component-of-road_tbl1_331036462</a>	<b>2,714</b>	<b>0,850</b>	<b>11,823</b>	<b>0,850</b>	<b>8,889</b>	<b>0,850</b>
Notas: * Quando aplicado												

## Apêndice E — Estimativas hidrológicas por classes de superfícies para 1970.

Estimativas por Classes de superfícies em um evento de Precipitação Intensa com Período de retorno de 01 ano em 1970.						
Superfícies	Área total em 1970 (ha)	C (ponderado, quando aplicado, pelo uso e características do solo e declividade das superfícies)	Intensidade Máxima Média de Precipitação ( Im ) referencial para o Período de Retorno de 01 ano (em mm.h-1)	Lâmina de água precipitada de referência ( litros/m² )	Volume escoado ( m³ )	Volume com POTENCIAL para infiltração ( m³ )
Edificações com poucas superfícies livres	0,000	**	**	**		
Edificações com muitas superfícies livres	0,000	**	**	**		
Subúrbios / arrabalde com alguma edificação	1,130	0,250	23,689	77,842	220	659
Florestas em solo arenoso	18,516	0,121	23,689	77,842	1.744	12.669
Florestas em solo argiloso	81,519	0,507	23,689	77,842	32.172	31.284
Terras cultivadas em solo arenoso	0,000	**	**	**		
Terras cultivadas em solo argiloso	0,000	**	**	**		
Pastagens e solo exposto arenoso	10,797	0,114	23,689	77,842	958	7.447
Pastagens e solo exposto argiloso	40,683	0,512	23,689	77,842	16.214	15.454
Asfalto	0,000	**	**	**		
Concreto / Calçadas	0,000	**	**	**		
Telhados preponderantes	0,000	**	**	**		
Gramma / herbáceas em solo arenoso	6,205	0,090	23,689	77,842	435	4.395
Gramma / herbáceas em solo argiloso	4,777	0,204	23,689	77,842	759	2.960
Corpos d'água e alagadiços Montante Rod. ES-060	1,856	1,000	23,689	77,842	1.444	0
Corpos d'água e alagadiços Jusante Rod. ES-060	23,420	1,000	23,689	77,842	18.231	0
Reservas Hídricas estruturais	0,000	**	**	**		
Estradas vicinais e de terra	2,714	0,850	23,689	77,842	1.796	317

## Apêndice F — Estimativas hidrológicas por classes de superfícies para 1990.

Estimativas por Classes de superfícies em um evento de Precipitação Intensa com Período de retorno de 01 ano em 1990.						
Superfícies	Área total em 1990 (ha)	C (ponderado, quando aplicado, pelo uso e características do solo e declividade das superfícies)	Intensidade Máxima Média de Precipitação ( Im ) referencial para o Período de Retorno de 01 ano (em mm.h-1)	Lâmina de água precipitada de referência ( litros/m² )	Volume escoado ( m³ )	Volume com POTENCIAL para infiltração ( m³ )
Edificações com poucas superfícies livres	0,000	**	**	**	**	**
Edificações com muitas superfícies livres	0,719	0,500	23,689	77,842	280	280
Subúrbios / arrabalde com alguma edificação	20,209	0,250	23,689	77,842	3.933	11.798
Florestas em solo arenoso	6,204	0,128	23,689	77,842	618	4.211
Florestas em solo argiloso	36,577	0,513	23,689	77,842	14.606	13.866
Terras cultivadas em solo arenoso	1,565	0,335	23,689	77,842	408	810
Terras cultivadas em solo argiloso	12,248	0,704	23,689	77,842	6.712	2.822
Pastagens e solo exposto arenoso	1,974	0,111	23,689	77,842	171	1.366
Pastagens e solo exposto argiloso	36,743	0,517	23,689	77,842	14.787	13.815
Asfalto	1,848	0,830	23,689	77,842	1.194	245
Concreto / Calçadas	0,208	0,840	23,689	77,842	136	26
Telhados preponderantes	0,140	0,850	23,689	77,842	93	16
Gramma / herbáceas em solo arenoso	22,535	0,091	23,689	77,842	1.596	15.945
Gramma / herbáceas em solo argiloso	23,048	0,205	23,689	77,842	3.678	14.263
Corpos d'água e alagadiços Montante Rod. ES-060	2,786	1,000	23,689	77,842	2.169	0
Corpos d'água e alagadiços Jusante Rod. ES-060	12,990	1,000	23,689	77,842	10.112	0
Reservas Hídricas estruturais	0,000	**	**	**		
Estradas vicinais e de terra	11,823	0,850	23,689	77,842	7.823	1.380

## Apêndice G — Estimativas hidrológicas por classes de superfícies para 2021.

Estimativas por Classes de superfícies em um evento de Precipitação Intensa com Período de retorno de 01 ano em 2021.						
Superfícies	Área total em 2021 (ha)	C (ponderado, quando aplicado, pelo uso e características do solo e declividade das superfícies)	Intensidade Máxima Média de Precipitação (Im) referencial para o Período de Retorno de 01 ano (em mm.h-1)	Lâmina de água precipitada de referência (litros/m²)	Volume escoado (m³)	Volume com POTENCIAL para infiltração (m³)
Edificações com poucas superfícies livres	1,682	0,600	23,689	77,842	785	524
Edificações com muitas superfícies livres	37,047	0,500	23,689	77,842	14.419	14.419
Subúrbios / arrabalde com alguma edificação	5,988	0,250	23,689	77,842	1.165	3.496
Florestas em solo arenoso	7,204	0,155	23,689	77,842	869	4.739
Florestas em solo argiloso	44,833	0,524	23,689	77,842	18.287	16.612
Terras cultivadas em solo arenoso	0,163	0,300	23,689	77,842	38	89
Terras cultivadas em solo argiloso	4,949	0,716	23,689	77,842	2.758	1.094
Pastagens e solo exposto arenoso	0,000	**	23,689	77,842		
Pastagens e solo exposto argiloso	27,848	0,501	23,689	77,842	10.860	10.817
Asfalto	7,598	0,830	23,689	77,842	4.909	1.005
Concreto / Calçadas	1,849	0,840	23,689	77,842	1.209	230
Telhados preponderantes	1,073	0,850	23,689	77,842	710	125
Gramma / herbáceas em solo arenoso	8,393	0,087	23,689	77,842	568	5.965
Gramma / herbáceas em solo argiloso	14,896	0,186	23,689	77,842	2.157	9.439
Corpos d'água e alagadiços Montante Rod. ES-060	1,745	1,000	23,689	77,842	1.358	0
Corpos d'água e alagadiços Jusante Rod. ES-060	17,340	1,000	23,689	77,842	13.498	0
Reservas Hídricas estruturais	0,120	1,000	23,689	77,842	93	0
Estradas vicinais e de terra	8,889	0,850	23,689	77,842	5.882	1.038

## ANEXO 1

Data de emissão do relatório: 12/10/2022



# Plúvio 2.1



Copyright (2005) © GPRH

## RELATÓRIO

Parâmetros da Equação de Intensidade, Duração e Frequência da Precipitação

### LOCALIZAÇÃO:

**Localidade:** Não definida      **Estado:** Espírito Santo

**Latitude:** 20°30'04"

**Longitude:** 40°21'49"

### PARÂMETROS DA EQUAÇÃO:

**K:** 4003,593

**a:** 0,203

**b:** 49,997

**c:** 0,931

### MAPA DE LOCALIZAÇÃO:



