



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E ECOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA
AMBIENTAL**

PEDRO HENRIQUE NASCIMENTO BRANDÃO

**RESISTÊNCIA DO MATERIAL LITOLÓGICO NA
DETERMINAÇÃO DA MORFOLOGIA E DOS PROCESSOS
EROSIVOS NAS FALÉSIAS COSTEIRAS EM MAIMBÁ-ES.**

VITÓRIA
2021

PEDRO HENRIQUE NASCIMENTO BRANDÃO

**RESISTÊNCIA DO MATERIAL LITOLÓGICO NA
DETERMINAÇÃO DA MORFOLOGIA E DOS PROCESSOS
EROSIVOS NAS FALÉSIAS COSTEIRAS EM MAIMBÁ-ES.**

Dissertação de Mestrado
apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em
Oceanografia Ambiental da
Universidade Federal do Espírito
Santo, como requisito parcial
para a obtenção do título de
Mestre em Oceanografia
Ambiental.

Orientadora: Dra. Jacqueline
Albino

VITÓRIA

2021

PEDRO HENRIQUE NASCIMENTO BRANDÃO

**RESISTÊNCIA DO MATERIAL LITOLÓGICO NA
DETERMINAÇÃO DA MORFOLOGIA E DOS PROCESSOS
EROSIVOS NAS FALÉSIAS COSTEIRAS EM MAIMBÁ-ES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia Ambiental.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dra. Jacqueline Albino – Orientadora –
Universidade Federal do Espírito Santo/UFES

Prof. D.Sc. Leonardo Azevedo Klumb Oliveira –
Examinador Externo – Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia/UFRB

Prof. D.Sc. Patrício José Moreira Pires – Examinador
Externo – Universidade Federal do Espírito
Santo/UFES

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela disponibilização de recurso financeiro para realização desta pesquisa.

A Universidade Federal do Espírito Santo – UFES pelo espaço físico disponibilizado e assistência em todos os momentos durante a pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental, incluindo toda equipe da coordenação, limpeza, professores e companheiros de pesquisa.

A orientadora desta dissertação professora Jacqueline Albino, por todo apoio, conhecimento transmitido e orientação inigualável.

Ao laboratório de Sedimentologia do Departamento de Oceanografia e Ecologia da UFES pela estrutura física.

Ao Laboratório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil da UFES pelo espaço cedido, ao professor Patrício Pires e ao técnico Sidineidy Izoton pelo auxílio na pesquisa.

Aos professores Leonardo Klumb e Fabian Sá pela disponibilidade de comparecimento a banca.

As amigas e amigos da geologia e oceanografia que contribuíram muito durante a pesquisa e proporcionaram vivências inesquecíveis.

A minha família pelo apoio em minha caminhada acadêmica e pelo ponto de segurança que me proporcionam sempre.

Aos Geocientistas por tentarem entender e transmitir o conhecimento sem barreiras culturais, ideológicas, políticas e sociais.

A mãe natureza por apresentar tanta beleza e diversidade na Terra, nos proporcionando a satisfação em tentar entendê-la.

RESUMO

A presente dissertação teve como objetivo determinar os fatores envolvidos na erosão subaérea de falésias localizadas ao longo da praia de Maimbá, região costeira centro-sul do Espírito Santo e relacionar estes processos à forma e susceptibilidade erosiva das feições. Neste sentido foi destacada a resistência litológica das fácies, os movimentos gravitacionais de massa e o uso da terra, fatores que aceleraram os processos erosivos costeiros. Através de descrições em campo, levantamento aerocartográfico por meio de imagens de alta resolução de veículo aéreo não tripulado (VANT) e ensaios laboratoriais, foram gerados produtos cartográficos como mapas de localização, de movimentos gravitacionais de massa e uso da terra, perfis litológicos e morfológicos das falésias em ambiente SIG. Os ensaios laboratoriais foram utilizados para corroborar as observações em campo e envolveram as propriedades texturais, de densidade, permeabilidade, umidade, limites de liquidez e plasticidade, mecânicos de resistência à compressão simples e cisalhamento direto, e química, com ensaio de difratometria de raio-x (DRX). As falésias costeiras pertencem a Formação Barreiras e apresentam correlação lateral de fácies em Maimbá-ES, com texturas maciças, composições, espessuras e direções semelhantes. Apresentam 4 fácies, com aumento da permeabilidade e diminuição da resistência litológica da base, que possui maior teor de lama e caolinita, em direção ao topo da sequência sedimentar, resultando na mudança do perfil morfológico das falésias. Os movimentos gravitacionais de massa estão associados as falésias mais altas, ocorrendo principalmente nas fácies superiores, e preservando os depósitos de blocos nas porções de praia protegidas das ondas. Do setor sul para o norte da praia de Maimbá, foi verificado aumento da erosão costeira estabelecido pelo conjunto de fatores do meio físico das falésias e características de resistência litológica do material aflorante. No setor sul foi diagnosticado o menor risco à erosão costeira, apesar da falésia medir 17,5m de altura, sua declividade é considerada baixa variando entre 45° e 70°, com perfil morfológico côncavo indicando erosão subaérea maior que erosão marinha, estrada adjacente espessa e faixa de areia na praia adjacente com espessura variando entre 30-50m, suficiente para proporcionar maior proteção ao ataque direto de ondas. O setor central possui a falésia com

menor altura, 13m, declividade entre 45° e 90°, perfil variando entre os formatos côncavo, retilíneo e convexo indicando erosão subaérea igual à marinha, e faixa de areia com espessura de 15m, havendo um risco à erosão intermediário em relação as demais falésias estudadas. O setor norte possui maior risco à erosão costeira, com a falésia medindo 18m de altura, declividade variando entre 60° e 90°, perfil retilíneo e convexo indicando erosão marinha maior que a subaérea, grande quantidade de movimentos gravitacionais de massa, estrada adjacente com evidências de rupturas planares e circulares, e faixa de areia estreita variando de 10-20m, não suportando o espraiamento das ondas e proporcionando um ataque direto a falésia. De uma maneira geral houve atuação da resistência litológica nos processos da forma das falésias, nos movimentos gravitacionais de massa e uso da terra no entorno, tendo grande influência na erosão costeira em Maimbá-ES.

PALAVRAS-CHAVE: COSTA DE FALÉSIAS, MOVIMENTOS DE ENCOSTAS, VANT, PROPRIEDADES DE SOLO

ABSTRACT

This dissertation aimed to determine the factors involved in the sub-aerial erosion of cliffs located along Maimbá beach, south-central coastal region of Espírito Santo, and to relate these processes to the shape and erosive susceptibility of the features. In this sense, the lithological resistance of the facies, the gravitational mass movements and the land use were highlighted, factors that accelerated the coastal erosion processes. Through field descriptions, aerocartographic survey through high resolution images of unmanned aerial vehicle (UAV) and laboratory tests, cartographic products such as location maps, gravitational mass and land use motion maps, lithological and morphological profiles were generated of the cliffs in a GIS environment. The laboratory tests were used to corroborate the field observations and involved the textural properties, density, permeability, moisture, liquidity and plasticity limits, mechanics of resistance to simple compression and direct shear, and chemical, with ray diffraction test. x (DRX). The coastal cliffs belong to the Barreiras Formation and show lateral facies correlation in Maimbá-ES, with massive textures, compositions, thicknesses and similar directions. They have 4 facies, with an increase in permeability and a decrease in the lithological resistance of the base, which has a higher content of mud and kaolinite, towards the top of the sedimentary sequence, resulting in a change in the morphological profile of the cliffs. Mass gravitational movements are associated with higher cliffs, occurring mainly on the upper facies, and preserving block deposits on the beach portions protected from waves. From the south to the north of Maimbá beach, an increase in coastal erosion established by the set of factors of the physical environment of the cliffs and lithological resistance characteristics of the outcrop material was verified. In the southern sector, the lowest risk to coastal erosion was diagnosed, despite the cliff measuring 17.5m in height, its slope is considered low, ranging between 45° and 70°, with a concave morphological profile indicating subaerial erosion greater than marine erosion, thick adjacent road and strip of sand on the adjacent beach with a thickness varying between 30-50m, enough to provide greater protection from the direct attack of waves. The central sector has a cliff with the lowest height, 13m, slope between 45° and 90°, profile varying between concave, rectilinear and convex shapes, indicating sub-aerial erosion equal to

marine, and a sand strip with a thickness of 15m, with an intermediate risk of erosion in relation to the other studied cliffs. The northern sector has a greater risk of coastal erosion, with the cliff measuring 18m in height, slope varying between 60° and 90°, straight and convex profile indicating greater marine erosion than sub-aerial, large amount of gravitational mass movements, adjacent road with evidence of planar and circular breaks, and a narrow strip of sand ranging from 10-20m, not supporting the spreading of the waves and providing a direct attack on the cliff. In general, there was an action of lithological resistance in the processes of the shape of the cliffs, in the gravitational movements of mass and land use in the surroundings, having a great influence on coastal erosion in Maimbá-ES.

KEYWORDS: CLIFF COAST, SLOPES MOVEMENTS, UAV, SOIL PROPERTIES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Autor.	25
Figura 2. Parte da estrada ES-060 destruída pela ação das ondas na praia de Maimbá, com banhistas utilizando a curta faixa de praia. Erosão que necessita recuperação, causando problemas econômicos Fonte: Autor.	27
Figura 3. Trecho da ES-060, área de estudo, destruída pela ação das ondas nas falésias costeiras. B - Estrada acima da falésia. Fonte: Bernardo Coutinho, Gazeta Online, 2019.	28
Figura 4. Processos erosivos atuantes na parte central e norte da praia de Meaípe-Maimbá. Fonte: Albino et.al, 2006.	28
Figura 5. Mapa de localização das falésias em Maimbá-es por Eguchi. Fonte: Eguchi (2018).	30
Figura 6. Coluna cronoestratigráfica da bacia do Espírito Santo com a Formação Barreiras no topo destacada em vermelho. Fonte: França et al., 2007.	32
Figura 7. Modelo de perfis morfológicos entre processos subaéreos (SA) e marinhos (M). Fonte: Modificado de Kuhn e Emery (1982).	34
Figura 8. Modelo do movimento gravitacional de massa do tipo rastejo. Fonte: Modificado de USGS (2013).	37
Figura 9. Tipos de ruptura que condicionam os escorregamentos. Fonte: Modificado de IPT (1991).	38
Figura 10. Modelo do movimento gravitacional de massa do tipo queda de blocos. Fonte: Modificado de USGS (2013).	39
Figura 11. Imageamento das falésias por VANT modelo <i>Phanton 3 Advanced</i> . Fonte: Autor.	44
Figura 12. Fluxograma metodológico da aquisição morfológica das falésias.	45
Figura 13. Falésia 01, porção sul da área de estudo. Fonte: Autor.	47
Figura 14. Porção esbranquiçada da Camada "A", a matriz da fácies. Fonte: Autor.	48
Figura 15. Perfil litológico da F-01.	49
Figura 16. Falésia F-02, porção central da área de estudo.	50
Figura 17. Camada "B" no centro da falésia, de coloração rosada.	51

Figura 18. Perfil litológico da F-02. Fonte: Autor.....	52
Figura 19. Falésia F-03, porção norte da área de estudo. Fonte: Autor.	
53	
Figura 20. Camada "A" da F-03, mostrando a mescla entre as porções lateríticas e caoliníticas. Fonte: Autor.....	54
Figura 21. Perfil litológico da F-03. Fonte: Autor.....	55
Figura 22. Contorno do tabuleiro costeiro adjacente a F-01, mostrando seu formato lenticular. Fonte: Autor.	56
Figura 23. Perfil topográfico da falésia, indicando a declividade a 45°. Fonte: Autor.	56
Figura 24. Contorno da F-02, mostrando sua forma lenticular, com reentrâncias nas pontas. Fonte: Autor.	57
Figura 25. Perfil topográfico da F-02, mostrando um ângulo médio de declividade entre 65° e 90°. Fonte: Autor.	58
Figura 26. Morfologia da F-03 vista em planta. Fonte: Autor.	59
Figura 27. Perfil topográfico da F-03, mostrando um ângulo médio de declividade entre 45° e 90°. Fonte: Autor.	59
Figura 28. Mapa de escorregamentos e queda de blocos da F-01. Fonte: Autor.....	61
Figura 29. Sequência de fotos mostrando as principais feições erosivas da F-01. A) Queda de blocos de coloração rosada, porção sul; B, C) Escorregamento na porção central; D) Escorregamento com presença de lateritas e pequenos blocos na porção norte. Fonte: Autor.	62
Figura 30. Conjunto de ravinas subverticais. Fonte: Autor	62
Figura 31. Parte central da F-01, mostrando os escorregamentos, as quedas de blocos, e as duas voçorocas. Fonte: Autor.....	63
Figura 32. Ocorrência pontual de queda de blocos e escorregamentos. Fonte: Autor.....	64
Figura 33. Conjunto de superfícies de erosão nas camadas B e D. Fonte: Autor.....	65
Figura 34. Destruição de parte da estrada ES-060, evidenciando uma estrutura de ruptura circular. Fonte: Autor.....	65
Figura 35. Movimentos gravitacionais de massa e feições erosivas presentes acima da porção norte da F-03. Fonte: Autor.	66

Figura 36. Mapa de uso da terra e feições geomorfológicas da F-01. Fonte: Autor.....	68
Figura 37. Uso da terra e feições geomorfológicas da F-02. Fonte: Autor.	70
Figura 38. Mapa de uso da terra e feições geomorfológicas da F-03. Fonte: Autor.....	71
Figura 39. Corpo de prova colocado na base da cápsula triaxial. Fonte: Autor.	76
Figura 40. Classificação da consistência das argilas. Fonte: Pinto, 2002.	77
Figura 41. Difratoograma representando concentrações de Illita e Caulinita. Fonte: Neves, 1968.....	79
Figura 42. Classificação de arredondamento dos grãos. Fonte: Autor, Modificado de Powers (1953).....	81
Figura 43. Permeâmetro de Parede Flexível, com a cápsula triaxial ao lado direito da foto. Fonte: Autor.....	83
Figura 44. A) Aparelho Casagrande utilizado para o ensaio de limite de liquidez. B) Ensaio do limite de plasticidade. Fonte: Autor.....	84
Figura 45. Amostras retiradas após secagem completa na estufa, para posterior pesagem da massa. Fonte: Autor.....	85
Figura 46. Modelagem dos corpos de prova indeformados. Fonte: Autor.	86
Figura 47. Ensaio de cisalhamento direto, com o corpo de prova dentro da caixa cisalhante. Fonte: Autor.....	88
Figura 48. Prensa e computador para aferição dos ensaios de cisalhamento direto. Fonte: Autor.....	89
Figura 49. Gráfico de Tensão x Deformação das camadas "A","B","C" e "D".....	94
Figura 50. Gráfico da envoltória de ruptura da camada "A". Fonte: Autor.	95
Figura 51. Gráfico da envoltória de ruptura da camada "B". Fonte: Autor.	96
Figura 52. Gráfico da envoltória de ruptura da camada "C". Fonte: Autor	96

Figura 53. Gráfico da envoltória de ruptura da camada "D". Fonte: Autor	97
Figura 54. Difratoograma da F-03 A, com 7 fases minerais presentes. Fonte: Autor.....	98
Figura 55. Difratoograma da F-01 B, com 6 fases minerais presentes. Fonte: Autor.....	98
Figura 56. Difratoograma da F-01 C, com 9 fases minerais presentes. Fonte: Autor.....	99
Figura 57. Difratoograma da F-01 D, com 7 fases minerais presentes. Fonte: Autor.....	99
Figura 58. Base caulinizada resistente. Fonte: Autor.	103
Figura 59. camada "A" basal mais resistente, formando uma saliência no perfil, camada "B" servindo de transição do perfil morfológico, e as camadas "C" e "D" alinhadas a 90°.....	104
Figura 60. Falésia no setor sul, com extensa faixa de areia e presença de blocos preservados.	106
Figura 61. Ruptura circular próximo a falésia central e ruptura planar no setor norte. Fonte: Autor.	107
Figura 62. Correlação entre os modelos morfológicos da falésia do setor sul da área de estudo com Emery e Kuhn (1982). Fonte: Autor.....	108
Figura 63. Correlação entre os modelos morfológicos da falésia do setor central da área de estudo com Emery e Kuhn (1982). Fonte: Autor.	109
Figura 64. Correlação entre os modelos morfológicos da falésia do setor norte da área de estudo com Emery e Kuhn (1982). Fonte: Autor.	110
Figura 65. Fácies A.....	121
Figura 66. Fácies B.....	121
Figura 67. Fácies C.....	122
Figura 68. Fácies D.....	122

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Principais tipos de movimentos gravitacionais de massa. Fonte: Adaptado de Augusto Filho (1992).....	36
Quadro 2. Processos relacionados a movimentos de massa. Fonte: Autor.	46
Quadro 3. Tabela de processos e feições erosivas da F-01.....	61
Quadro 4. Movimentos gravitacionais de massa e feições erosivas na F-02. Fonte: Autor.....	64
Quadro 5. Processos e feições erosivas da F-03. Fonte: Autor.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de densidade e do coeficiente de permeabilidade (k) obtidos na F-01.	92
Tabela 2. Valores em porcentagens da umidade, limites de liquidez e plasticidade.	93
Tabela 3. Valores de tensão máxima e média.	94
Tabela 4. Integração dos dados de propriedades físicas de resistência das 4 camadas estudadas.	100
Tabela 5. Integração dos dados de umidade, compressão simples e cisalhamento direto nas 4 camadas escolhidas.	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM – American Society for Testing Materials
CP – Corpo de prova
DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DRX – Difractometria de Raio-X
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ES – Espírito Santo
F-01 – Falésia 01
F-02 – Falésia 02
F-03 – Falésia 03
Fm – Formação
GPS – Global Positioning System
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LL – Limite de Liquidez
LP – Limite de Plasticidade
M – Marinha
MDT – Modelo Digital do Terreno
NBR – Norma Brasileira
SA – Subaérea
SIG – Sistema de Informações Geográficas
UFES – Universidade Federal do Espírito Santo
UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USGS – Serviço Geológico dos Estados Unidos
UTM – Universal Transversa de Mercator
VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

LISTA DE SÍMBOLOS

cm – Centímetros

c' – Coesão

D – Diâmetro

g – Gramas

G_s – Densidade real dos grãos

h – Umidade

H – Altura

k – Coeficiente de Permeabilidade

Kgf – Quilograma-Força

kPa – Quilopascal

m – Metros

mm – Milímetros

p – Peso

s – Segundos

S_u – Resistência ao cisalhamento não drenada

S_u UCT – Ensaio de Compressão Simples

T – Temperatura

W_L – Limite de liquidez

W_p – Limite de plasticidade

w_n – Umidade natural do solo

γ_d – Peso específico aparente seco

γ_t – Peso específico natural do solo

ϵ – Deformação axial específica

μm – Micrômetros

ϕ – Phi

Sumário

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	20
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	20
1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	24
1.3 ÁREA DE ESTUDO.....	25
1.3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS	25
1.3.2 PROCESSOS EROSIVOS DAS FALÉSIAS DA PRAIA DE MAIMBÁ.....	26
CAPÍTULO 2 – RELAÇÃO ENTRE LITOLOGIA, MORFOLOGIA, MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E USO DA TERRA NA EROSÃO DAS FALÉSIAS COSTEIRAS	30
2.1 OBJETIVO GERAL	30
2.2 METAS.....	31
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS	31
2.2.1 FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA.....	31
2.2.1.1 GEOLOGIA: FALÉSIAS DA FORMAÇÃO BARREIRAS .	31
2.2.1.2 MORFOLOGIA.....	33
2.2.1.3 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA.....	35
2.2.1.4 USO DA TERRA	40
2.2.2 OBTENÇÃO DE DADOS	41
2.2.2.1 TRABALHO DE CAMPO.....	41
2.2.2.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.....	42
2.2.2.3 LEVANTAMENTO MORFOLÓGICO.....	43
2.2.2.3 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA.....	45
2.2.2.4 USO DA TERRA	46
2.3 RESULTADOS.....	47
2.3.1 DESCRIÇÃO LITOLÓGICA DAS FALÉSIAS COSTEIRAS...	47

2.3.1.1 FALÉSIA 01 (SETOR SUL).....	47
2.3.1.2 FALÉSIA 02 (SETOR CENTRAL).....	49
2.3.1.3 FALÉSIA 03 (SETOR NORTE).....	52
2.3.2 MORFOLOGIA DO PERFIL DAS FALÉSIAS E DOS TABULEIROS COSTEIROS.....	55
2.3.2.1 SETOR SUL.....	55
2.3.2.2 SETOR CENTRAL.....	57
2.3.2.3 SETOR NORTE.....	58
2.3.3 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA NAS FALÉSIAS.....	60
2.3.3.1 SETOR SUL.....	60
2.3.3.2 SETOR CENTRAL.....	63
2.3.3.3 SETOR NORTE.....	66
2.3.4 MAPEAMENTO DO USO DA TERRA E FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS NO ENTORNO DAS FALÉSIAS.....	68
2.3.4.1 SETOR SUL.....	68
2.3.4.2 SETOR CENTRAL.....	69
2.3.4.3 SETOR NORTE.....	70
2.4 INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS.....	72
CAPÍTULO 3 – INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA DOS SOLOS NA MORFOLOGIA DAS FALÉSIAS COSTEIRAS.....	74
3.1.1 OBJETIVO GERAL.....	74
3.1.2 METAS.....	74
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	75
3.2.1 FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA.....	75
3.2.1.1 RESISTÊNCIA DOS SOLOS.....	75
3.2.1.2 PROPIEDADES FÍSICAS.....	75
3.2.1.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	77

3.2.1.4 PROPRIEDADES QUÍMICAS	78
3.2.2 TRABALHO DE LABORATÓRIO	79
3.2.2.1 PARÂMETROS FÍSICOS	79
3.2.2.1.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA E MORFOSCÓPICA	80
3.2.2.1.2 DENSIDADE.....	82
3.2.2.1.3 PERMEABILIDADE	82
3.2.2.1.4 LIMITES DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE	83
3.2.2.1.5 TEOR DE UMIDADE	84
3.2.2.2 PARÂMETROS MECÂNICOS	85
3.2.2.2.1 COMPRESSÃO SIMPLES	85
3.2.2.2.2 CISALHAMENTO DIRETO.....	87
3.2.2.3 PARÂMETROS QUÍMICOS.....	89
3.3 RESULTADOS	90
3.3.1 PARÂMETROS FÍSICOS	90
3.3.1.1 TEXTURA	90
3.3.1.2 DENSIDADE E PERMEABILIDADE	91
3.3.1.3 UMIDADE, LIMITES DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE ..	92
3.3.2 PARÂMETROS MECÂNICOS	93
3.3.2.1 COMPRESSÃO SIMPLES.....	93
3.3.2.2 CISALHAMENTO DIRETO	95
3.3.3 PARÂMETRO QUÍMICO (DIFRATOMETRIA DE RAIO-X)....	98
3.4 INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS	100
CAPÍTULO 4 –DISCUSSÃO	102
4.1. O PAPEL DA RESISTÊNCIA LITOLÓGICA NA CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DAS FALÉSIAS COSTEIRAS	102

4.2 INFLUÊNCIA DOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E DO USO DA TERRA NA EROSÃO COSTEIRA DA PRAIA DE MAIMBÁ.....	105
4.3 CORRELAÇÃO ENTRE MORFOLOGIA DAS FALÉSIAS E EROSÃO COSTEIRA.....	107
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO E SUGESTÕES.....	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

As falésias costeiras ocorrem em cerca de 80% das linhas de costa pelo mundo (Emery e Kuhn, 1982; HalcrowGroupLtd. *et al.*, 2001) e possuem intrínseca ligação com a economia e a política, já que estão relacionadas a importantes atividades costeiras como na indústria portuária, comércio, turismo e pesca. Na Inglaterra por exemplo, os investimentos relacionados ao gerenciamento costeiro de falésias giram em torno de 77 milhões de Euros por ano (HalcrowGroupLtd. *et al.*, 2001). As linhas de costa com este tipo de formação rochosa estão em frequente erosão e são bastantes vulneráveis em locais habitados (Walkden and Hall, 2005), tornando-se um significativo problema no recuo da linha de costa ao longo de vários trechos ao redor do mundo (Lee, 2008). No Brasil as falésias distribuem-se do sudeste ao norte, ocorrendo sob a forma de falésias ativas ou inativas, e associadas a terraços de abrasão marinho, representadas pela Fm Barreiras (Albino *et al.*, 2006).

A preocupação com o desenvolvimento sustentável dos recursos naturais vem se tornando um assunto cada vez mais importante nos dias atuais devido à ocupação desordenada (Mello *et al.*, 2006). O uso da terra é um importante tema na caracterização do meio físico em falésias costeiras, tendo em vista que atuam na deflagração de processos erosivos, especialmente em áreas ocupadas (Dias & Herrmann, 2002). De acordo com Moura-Bueno *et al.* (2018) avaliar as perdas de solo por erosão em encostas de solos frágeis é essencial devido à relevância econômica e ambiental que apresentam. A ausência de informações geotécnicas ocasiona o uso inadequado da terra, podendo causar o esgotamento dos recursos naturais (Valladares *et al.*, 2012; FAO, 2015).

O conceito de falésia utilizada por Ab'Sáber (1975) é “um paredão abrupto originado pela erosão marinha na frente de promontórios ou pontas costeiras. Segundo Christofolletti (1980) as falésias são “um ressalto não coberto pela vegetação, com alturas variadas e declividades

acentuadas, localizado no contato entre o mar e a terra. São definidas como escarpas cristalinas ou sedimentares de fâceis abruptas sendo denominada falésia ativa ou viva quando se encontra em processo de erosão marinha contínua (Suguio, 1998). De acordo com o IBGE (1999), falésia é “uma escarpa formada pela erosão marinha ou fluvial, com porções continentais soerguidas e/ou rebaixamentos eustáticos ocorridos na sua gênese.

São consideradas como encostas íngremes, resultado de processos erosivos marinhos atuantes no sopé e processos subaéreos (Sunamura, 1992). Ainda, segundo Sunamura (1992), o recuo das falésias costeiras é resultante do balanço entre a ação dos fatores erosivos (marinhos e subaéreos) e a capacidade da resistência do material litológico.

Os fatores marinhos atuantes na erosão são a combinação da ação das ondas, marés, correntes e eventos extremos, os quais podem ser mensurados através da magnitude da intensidade das ondas ao sopé das falésias (Emery e Kuhn, 1982; Sunamura, 1982; 1992). A erosão das falésias costeiras também está relacionada a uma elevação do nível do mar, sem perder a interação com a resistência ou coesão dos sedimentos (Projeto Orla, 2004).

Os processos subaéreos são representados pela caracterização do meio físico e do material que compõe a falésia, e perfazem grande parte das informações inerentes a evolução das falésias costeiras e suas dinâmicas naturais associadas (Sunamura, 1992). Esta caracterização envolve estudos geológicos, morfológicos (Emery e Kuhn, 1982; Sunamura, 1992), de uso da terra (Ross, 2011), de movimentos gravitacionais de massa e de resistência do material litológico (Emery e Kuhn, 1982; Van Westen *et al.*, 2008). Os estudos na primeira parte representam as etapas de campo, seguidos por serviços de gabinete que visam gerar produtos cartográficos temáticos de geologia, morfologia, uso da terra e cobertura vegetal (Ross, 2011).

A determinação de elementos erosivos das falésias é fundamental para a caracterização dos aspectos morfológicos da costa, auxiliando nos

estudos relacionados ao processo evolutivo (Muehe, 1996). Dentre as principais feições tem-se os movimentos gravitacionais de massa, voçorocas, ravinas, sulcos entre outros (Augusto Filho, 1992). Essas feições geomorfológicas erosivas são típicas em sistemas ativos de praia-falésia. Os movimentos gravitacionais de massa são importantes feições erosivas em falésias costeiras ativas, provindos da combinação do intemperismo físico e químico e da ação das ondas, que geram instabilidade estrutural, acarretando o aumento dos processos erosivos como movimentos de fluxo, dos tipos rastejos, escorregamentos, queda de blocos e deslizamentos. A identificação de sulcos, voçorocas e ravinas envolve a erosão subaérea, e é uma boa ferramenta de campo para entendimento da susceptibilidade do material litológico à erosão e da complexidade evolutiva das falésias costeiras (Almeida Filho, 2014). Essas feições permitem analisar as condições de recuo ao longo do tempo, contribuindo para a interpretação morfológica do local (Muehe, 1996).

Desta forma, os processos erosivos nas falésias costeiras estão então diretamente ligados às características geológicas dos afloramentos rochosos, como direções preferenciais de estruturas, tipos de estratificações e mineralogia (Emery e Kuhn, 1982; Davidson-Arnott, 2010; Sunamura, 2015). Quanto à composição e à resistência aos processos erosivos, as falésias sedimentares possuem litologias pouco consolidadas e com baixo teor de cimento, incluindo sedimentos argilosos, arenosos, siltosos, cascalhosos e glaciais (Pye and French, 1993; Damgaard and Dong, 2004; Hackney et al., 2013).

A resistência de uma rocha está ligada a suas forças físicas e mecânicas (Sunamura, 2015). Textura, densidade, permeabilidade, limites de liquidez e plasticidade, umidade são parâmetros que podem ser conhecidos por métodos laboratoriais empregados para parametrizar a resistência dos solos quanto aos princípios físicos.

A textura refere-se à classificação por tamanho (granulometria) e forma dos grãos, refletindo diretamente nas taxas de permeabilidade das formações (Muehe, 1996). A granulometria do sedimento é definida pelas

classes de silte, argila, areia e cascalho e sua forma é classificada pelo grau de arredondamento da superfície, o que pode fornecer informação sobre a maturidade textural (Folk, 1954). A densidade é a massa específica por unidade de volume, influenciada pela composição e grau de compactação, e a permeabilidade é um fator físico que rege a capacidade da transmissão de fluidos através da intercomunicação entre grãos (Karmann, 2000). O limite de liquidez é considerado a transição do estado plástico para o estado líquido do material, sendo a umidade na qual o material se une a uma determinada quantidade de golpes (NBR-7180), e o limite de plasticidade determina o limite entre os estados semi-plástico ao plástico, sendo considerado a umidade na qual se consegue moldar um cilindro com 3mm de diâmetro (NBR-6459). O teor de umidade é dado em porcentagem, e é considerado a razão entre a massa de água contida em um determinado volume de solo e a massa da parte sólida existente nesse mesmo volume (Caputo, 2017).

A resistência mecânica das falésias sedimentares pode ser mensurada através de ensaios laboratoriais como resistência ao cisalhamento direto e compressão simples. O parâmetro químico é estabelecido para corroboração da caracterização geológica/composicional através do método de difração de raio-x, em laboratório. Este teste laboratorial auxilia na identificação de alterações diagenéticas, que são responsáveis pela diminuição dos espaços entre grãos, através dos processos de compactação, recristalização, dissolução, cimentação, autigênese, substituição e bioturbação. Quanto maior o tempo do processo diagenético, maior a tendência de compactação e cimentação da rocha, culminando em uma rocha mais resistente (Wilson 1994).

Por fim, segundo Emery e Kuhn (1982) o perfil morfológico das falésias pode imprimir a relação entre o processo erosivo atuante e a resistência litológica através da forma de curvatura, estudo útil para estimar a estabilidade de construção civis como ferrovias e rodovias que estão nos arredores das falésias costeiras. De acordo com os autores, as formas convexas estão associadas a perfis com erosão marinha igual ou

superior a erosão subaérea, enquanto as formas côncavas relacionam-se com erosão marinha inferior que a subaérea.

Desta forma, no presente trabalho são avaliadas as características geológicas, morfológicas, de movimentos gravitacionais de massa, uso da terra e de resistência dos materiais litológicos das falésias, por descrições em campo e por métodos laboratoriais físicos, mecânicos e químico. Na discussão foram realizadas correlações das fácies geológicas e da forma do perfil da falésia, com a resistência do material, segundo Emery e Kuhn (1982), e correlações entre os movimentos gravitacionais de massa (Augusto Filho, 1992) e o uso da terra para determinação de processos erosivos. A partir deste enfoque, o trabalho apresenta como objetivo geral apresentar como a resistência do material litológico das falésias, presentes do litoral do Espírito Santo, influencia na determinação da morfologia e dos processos erosivos subaéreos atuantes.

1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está organizada em cinco capítulos, conforme segue:

- Capítulo 1 – Introdução: apresenta as considerações iniciais do trabalho, contendo a contextualização, organização da dissertação, objetivo geral e justificativa da área de estudo.
- Capítulo 2- Relação entre geologia, morfologia, movimentos gravitacionais de massa e uso da terra: apresenta os objetivos, materiais e métodos, resultados e discussão do estudo do meio físico das falésias.
- Capítulo 3- Influência dos parâmetros de resistência do material litológico na morfologia das falésias: apresenta os objetivos, materiais e métodos, resultados e discussão dos testes laboratoriais físicos de permeabilidade, densidade, limites de liquidez e plasticidade, umidade e granulometria, mecânicos de compressão simples e cisalhamento direto, e químico com DRX.

- Capítulo 4- Análise Integrada de Dados: apresenta a discussão geral da dissertação, com dados dos capítulos anteriores.
- Capítulo 5- Conclusão e sugestões: apresenta a conclusão do trabalho e sugestões para estudos futuros.

1.3 ÁREA DE ESTUDO

1.3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS

As falésias costeiras de Maimbá estão inseridas no arco praial de Meaípe-Maimbá, que possui cerca de 6km de extensão, e é delimitado por pelo Terminal Portuário de Ubu, ao sul, e um promontório cristalino, ao norte (Eguchi e Albino, 2018). Está inserido no trecho onde há a intercalação de costões rochosos, de origem ígnea e metamórfica, com tabuleiros costeiros da Formação Barreiras (Martin et al., 1986). A área de estudo compreende 03 afloramentos (Figura 1), divididos em três setores: sul, representado pela Falésia F-01, central representado pela Falésia F-02, e norte, representada pela Falésia F-03.

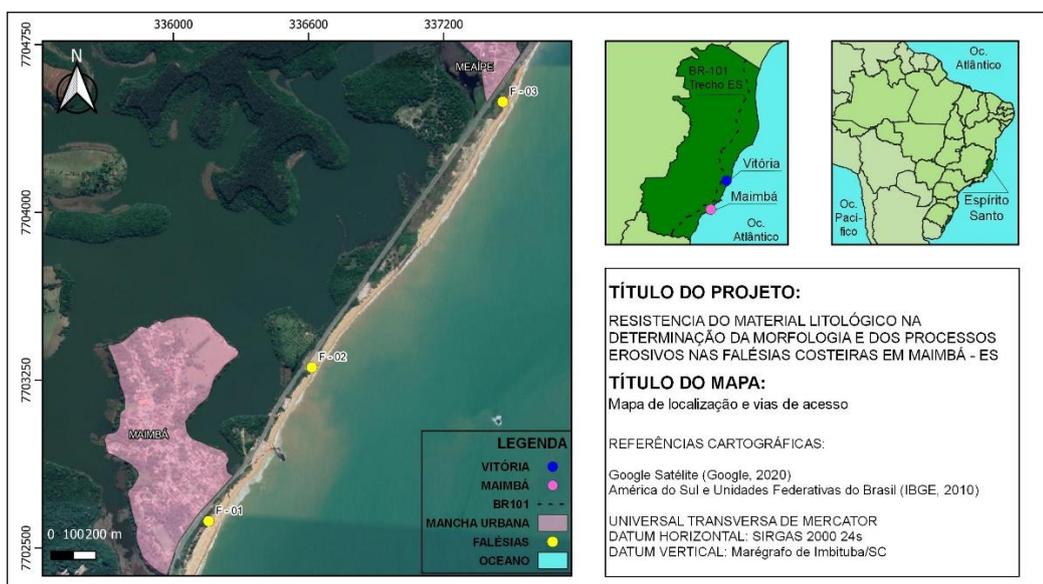


Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Autor.

As falésias costeiras são formadas por sedimentos predominantemente continentais provenientes da Fm Barreiras, que ocorre no litoral brasileiro, estendendo-se do sudeste ao norte do país. Na praia de Maimbá, região centro-sul do Espírito Santo, as principais fontes de sedimentos são as falésias e os promontórios rochosos adjacentes, sendo composta por areias de composição predominantemente silicilástica, com ocorrências de minerais pesados (Albino *et al.*, 2006). Ainda de acordo com os autores, os minerais pesados concentram-se principalmente na porção centro norte da área de estudo, onde os processos erosivos são mais evidentes.

De acordo com a Diretoria de Hidrografia e Navegação (2017), o regime de maré da área de estudo é de micromaré, com média de 0,83m de altura, e amplitude variando entre -0,1 e 1,6m. As ondas apresentam alturas médias variando de 1 a 2 metros, período de 6 a 8 segundos, e quadrante de leste (Pianca *et al.*, 2010). Entre os anos de 1995 e 2008 foi considerado o maior período energético de ondas, com maiores alturas significativas médias anuais desde 1953, com 1,17m representando o maior valor no ano de 2008 (Eguchi, 2018).

O setor norte possui um cordão litorâneo estreito, com transposição de ondas, e influência de ilhas costeiras e promontórios rochosos ao redor do arco praial, o setor sul sofre influência do Porto de Ubu, causando refração das ondas, e gerando uma porção da praia de característica intermediária (Albino *et al.*, 2006). A parte central apresenta morfodinâmica intermediária, com substrato sub-horizontal e recobertos por concreções lateríticas, presença de falésias vivas e recifes areníticos (Albino *et al.* 2006, 2016).

1.3.2 PROCESSOS EROSIVOS DAS FALÉSIAS DA PRAIA DE MAIMBÁ

Segundo Muehe (2006), a erosão costeira ao longo do litoral brasileiro pode ser considerada intensa em diversos momentos ao longo do ano, associados à intervenção humana no fluxo morfodinâmico de desembocaduras fluviais e construções civis equivocadas. Junto a outras feições geomorfológicas como cordões litorâneos, manguezais, pontais e

planícies de cristas de praia, as falésias costeiras representam os principais ambientes associados à região costeira no Brasil, e estão ameaçados de erosão pela expansão urbana (Muehe, 2006).

Ainda segundo Muehe (2006), a percepção em relação aos processos costeiros aumentará de acordo com o crescimento populacional e conseqüente urbanização nas zonas costeiras brasileiras, de tal modo que atitudes errôneas tomadas anteriormente, passem a ser vistas como problemas socioeconômicos e ambientais atualmente. Em dados trechos do litoral brasileiro, essa alteração do balanço sedimentar acarreta sérios problemas em praias formadas por falésias em áreas urbanizadas, as quais representa uma importante opção de lazer e economia local (Muehe, 1996). Na Figura 2 é mostrada a rodovia ES-060 na praia de Maimbá, exemplificando a observação do autor.



Figura 2. Parte da estrada ES-060 destruída pela ação das ondas na praia de Maimbá, com banhistas utilizando a curta faixa de praia. Erosão que necessita recuperação, causando problemas econômicos Fonte: Autor.

Os processos erosivos de maior atuação são nas partes central e norte do arco praiar de Maimbá-Meaípe, verificados pelo ataque das ondas nas falésias, com destruição e queda de estruturas civis próximas, como parte da estrada ES-060 (Oliveira et al., 2019; Modolo et al, 2003; Albino et al, 2016) (Figuras 3 e 4).



Figura 3. Trecho da ES-060, área de estudo, destruída pela ação das ondas nas falésias costeiras. B - Estrada acima da falésia. Fonte: Bernardo Coutinho, Gazeta Online, 2019.



Figura 4. Processos erosivos atuantes na parte central e norte da praia de Meaípe-Maimbá. Fonte: Albino et.al, 2006.

Eguchi e Albino (2018) estudaram o grau de exposição às ondas, os impactos destas sobre as mesmas falésias aqui estudadas, considerando que estas apresentassem litologias semelhantes nas taxas de recuo de três falésias na praia de Maimbá (Figura 5) entre os anos de 1953 e 2008, observa-se o incremento da erosão costeira no sentido norte-sul, com diferentes taxas de recuo ao longo da praia. Segundo Eguchi (2018) a falésia a sul apresentou maior recuo acumulado com valores de 0,80 m/ano, somando 51 metros entre os anos de 1953 e 2016. Na falésia central o valor foi de 0,69 m/ano e total acumulado de 43 metros e na falésia a norte na praia de Maimbá com menor recuo, apresentando 18 metros de total acumulado e com média de 0,43 m/ano.

De acordo com Eguchi (2018), apesar da tendência mostrar maior erosão na falésia sul entre os anos de 1953 e 2016, a partir deste ano a exposição às ondas mostrou-se o contrário, com as falésias mais a norte apresentando maior exposição a ondas, seguidas pelas falésias centrais e por fim a sul. Albino *et al.* 2016 destacam ainda que a maior faixa de areia gera a maior proteção da praia na falésia a sul da praia de Maimbá, e com diminuição da faixa de areia e maior intensidade das ondas nas falésias nos setores central e norte da praia. Desta forma, parece que mesmo protegidas pela faixa arenosa da praia, as falésias ao sul erodem mais ao longo do tempo (Eguchi, 2018) e possivelmente são outros os fatores envolvidos, principalmente na atuação dos processos subaéreos, responsáveis pelo recuo.

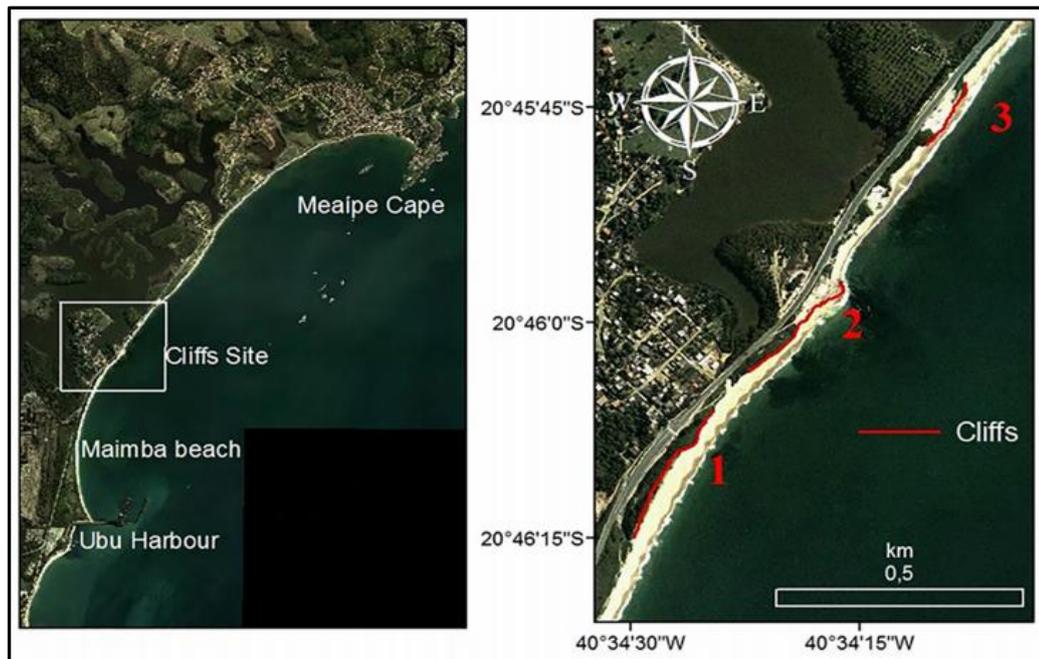


Figura 5. Mapa de localização das falésias em Maimbá-es por Eguchi. Fonte: Eguchi (2018).

Esta dissertação visa contribuir com os estudos realizados anteriormente por Albino et al. (2006), Eguchi (2018) e Eguchi e Albino (2018) que estudaram relações morfodinâmica do sistema praia-falésia e recuo da linha costa, com dados intrínsecos das falésias na Praia de Maimbá, como litologia, morfologia, observação de feições erosivas subaéreas e uso do solo entorno das falésias costeiras.

CAPÍTULO 2 – RELAÇÃO ENTRE LITOLOGIA, MORFOLOGIA, MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E USO DA TERRA NA EROSÃO DAS FALÉSIAS COSTEIRAS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Compreender a interação entre a forma dos perfis das falésias, as diferentes fácies litológicas, o uso da terra e a presença de movimentos gravitacionais de massa.

2.2 METAS

- Caracterizar a litologia, morfologia, os movimentos gravitacionais de massa e o uso da terra no entorno que aceleram os processos erosivos nas falésias costeiras;
- Mapear as formas das falésias e associar aos principais processos que dão origem aos movimentos subaéreos envolvidos;
- Confeccionar perfis litológicos e morfológicos, mapas de movimentos gravitacionais de massa e de uso da terra das falésias em ambiente SIG, utilizando imagens de alta resolução de VANT.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA

2.2.1.1 GEOLOGIA: FALÉSIAS DA FORMAÇÃO BARREIRAS

O termo Barreiras refere-se a sedimentos terrígenos de origem continental e marinha, com seu depósito estendendo-se do Rio de Janeiro até o estado do Amapá (Arai, 2006). De acordo com Vieira *et al.* (1994), a Formação Barreiras de idade Mioceno-Plioceno está inserida no contexto geológico da bacia sedimentar do Espírito Santo em sua parte emersa, representando os últimos pulsos deposicionais acomodados por esta (Figura 6), sendo caracterizada por associações faciológicas de ambiente fluvial entrelaçado, com contribuição de sedimentos depositados por fluxo de detritos, e fácies típicas de planície de inundação (Morais, 2007).

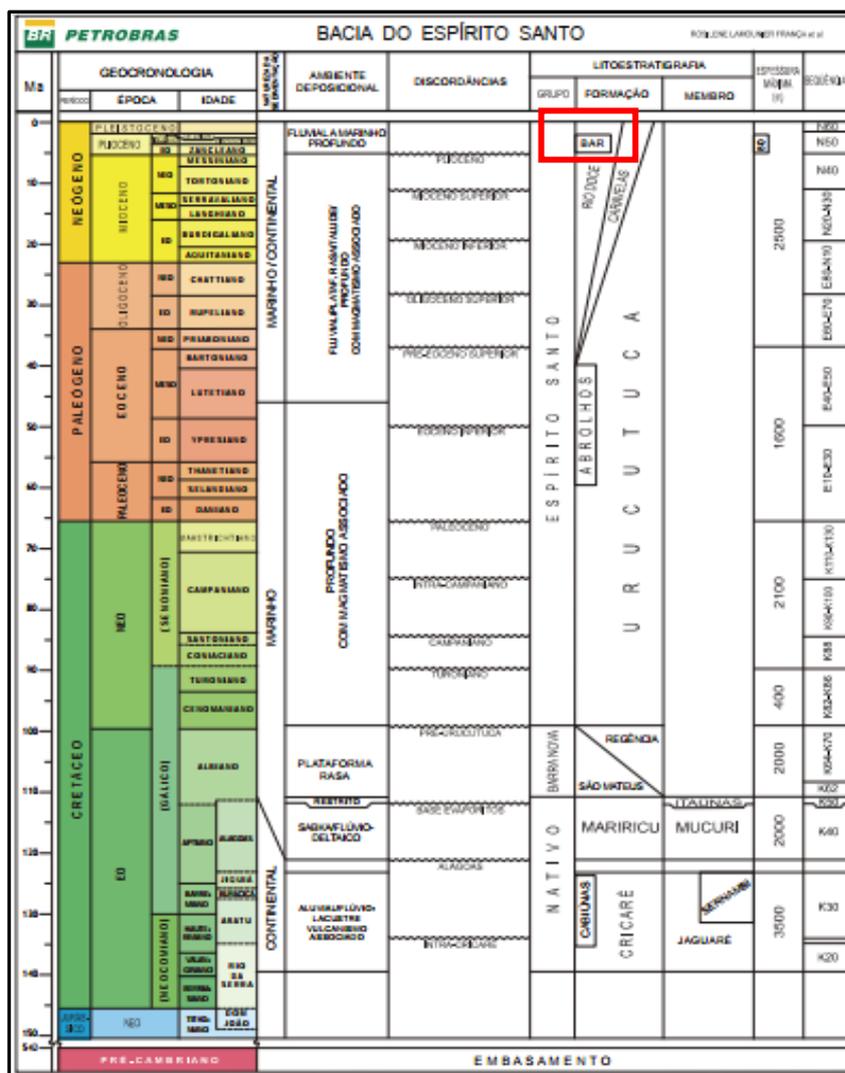


Figura 6. Coluna cronoestratigráfica da bacia do Espírito Santo com a Formação Barreiras no topo destacada em vermelho. Fonte: França et al., 2007.

A sedimentação da Fm. Barreiras é caracterizada pelas variações climáticas, com pulsos de alta umidade em épocas de predominância semiárida e por movimentos epirogenéticos que geraram espaço de acomodação para a deposição dos sedimentos (Bigarella, 1975). No estado do Espírito Santo, as fácies sedimentares predominantes da Formação Barreiras são argilosos, argilo-arenosos e arenosos (Melo *et al.* 2002). Ainda de acordo com os autores, são sedimentos caoliníticos, com arcabouço formado por quartzo mal selecionado e baixos teores de ferro. A fácies argilosa é predominantemente caulinizada, sendo caracterizada por sua estabilidade mineralógica e muito resistente aos diferentes tipos

de intemperismos (EMBRAPA, 1978). Geralmente a caulinita e os óxidos de ferro associados a estes influenciam na cor, consistência, infiltração e retenção de água (Melo *et al.*, 2012). A fácies sedimentar de textura grossa é constituída mineralogicamente por quartzo, traços de biotita, moscovita, ilmenita, rutilo, turmalina e zircão (EMBRAPA, 1978). Durante o processo diagenético de cimentação pela sílica, parte das fácies composta predominantemente por areia são transformadas em massas de “silcretes”, que são compactos e bastante resistente as forças meteorológicas, protegendo as escarpas e a partes elevadas (King, 1956).

2.2.1.2 MORFOLOGIA

A evolução do relevo é o resultado de uma longa interação entre o tectonismo, litologia e clima, e sua compreensão é de grande importância para a reconstituição paleogeográfica da área de estudo (Muehe, 1996). Ainda segundo o autor, esta compreensão pode fornecer importantes indicações da evolução futura, ou para melhor avaliar a representatividade de uma tendência evolutiva observado em um curto espaço de tempo, ou até mesmo observar o mecanismo de formação de ciclos evolutivos.

As principais condicionantes morfológicas utilizadas para caracterização dos processos erosivos e avaliação de susceptibilidade em encostas são a declividade, curvatura em perfil, comprimento e orientação (Brito, 2014).

A declividade é considerada uma das principais condicionantes nos processos erosivos, uma vez que é uma grandeza diretamente proporcional à velocidade do movimento (Dias & Herrmann, 2002). A morfologia das falésias pode imprimir a relação entre a resistência litológica e o processo erosivo atuante através da análise da curvatura das falésias (Kuhn e Emery, 1982). Ainda segundo os autores o comprimento, orientação e amplitude das falésias são importantes para caracterização do objeto de estudo. As características inerentes as direções e mergulhos das camadas tem grande influência sobre a morfologia das falésias costeiras, mostrando que as camadas que mergulham em direção ao continente são mais seguras, enquanto as camadas que possuem

mergulho para o oceano possuem maiores riscos de desabamento (Kennedy *et al.*, 2014).

A figura 7 mostra as diferentes formas das falésias, de acordo com as variáveis de erosão marinha (M) e subaérea (SA). A letra “a” exemplifica uma erosão marinha muito maior que a erosão subaérea, formando uma parede escarpada de 90° de declividade e perfil retilíneo. A letra “b” mostra uma erosão marinha maior que a erosão subaérea, apresentando uma leve inclinação no topo, porém com ângulo de declividade bastante elevado, próximo a 90°, com curvaturas variando de retilíneo a convexo. A letra “c” mostra a erosão subaérea e marinha igualadas, com a forma do modelo evidenciando uma base menos reta e um topo mais abaulado, possuindo caráter côncavo. A letra “d” mostra a erosão subaérea maior que a erosão marinha, com um perfil mais abaulado que os demais, de caráter convexo.

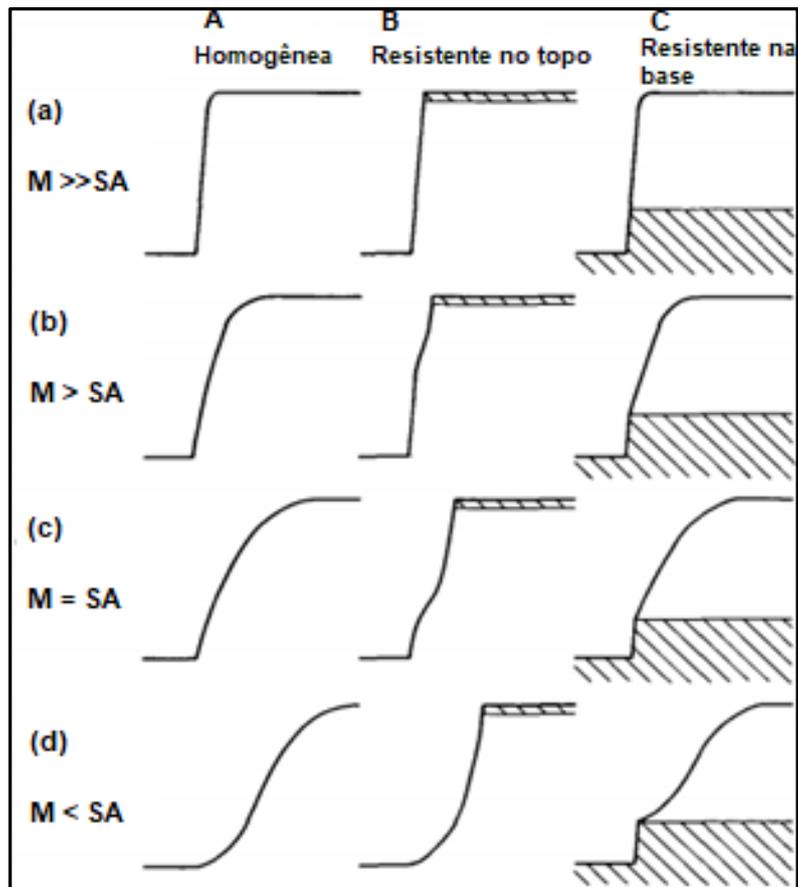


Figura 7. Modelo de perfis morfológicos entre processos subaéreos (SA) e marinhos (M). Fonte: Modificado de Emery e Kuhn (1982).

2.2.1.3 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

Os movimentos gravitacionais de massa são atualmente os principais processos geomorfológicos que esculpem as falésias costeiras areníticas pouco litificadas na costa Pacífica do Estados Unidos da América (Collins e Sitar, 2008). No Brasil, a crescente demanda para uso de áreas a serem urbanizadas vem provocando a rápida expansão dos municípios sem as medidas apropriadas de ocupação e ordenamento de território, sendo estes fatores preponderantes no impulsionamento de construções civis em áreas impróprias a urbanização, como encostas íngremes e planícies de inundação (Brito, 2014). De acordo com a UNESCO (WP-WLI, 1993) os movimentos gravitacionais de massa são o fenômeno natural de maior impacto em desastres naturais, sendo mais expressivos que terremotos, inundações e tempestades.

Os movimentos gravitacionais de massa consistem em um processo natural em escarpas ou encostas, sendo parte da evolução morfológica do terreno. Contudo, a expansão populacional desordenada tem gerado acidentes, associados a destruição de construções civis causadas pelo processo de movimentação (Tominaga, 2012). Os movimentos envolvem uma variedade de materiais e processos, tendo diversos tipos de feições (Tominaga, 2012). Os principais tipos de processos são o rastejo, escorregamento, quedas e corridas, os quais são classificados através de três principais parâmetros, dinâmica, geometria e material (Augusto Filho, 1992) (Quadro 1).

Quadro 1. Principais tipos de movimentos gravitacionais de massa. Fonte: Adaptado de Augusto Filho (1992).

Processos	Dinâmica/Geometria/Material
Rastejos (creep)	<ul style="list-style-type: none"> - Velocidades muito baixas a baixas (cm/ano); - Vários planos de deslocamento (interno); - Movimentos constantes, sazonais e intermitentes; - Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada; - Geometria indefinida.
Escorregamentos (slides)	<ul style="list-style-type: none"> - Velocidades médias (m/h) e altas (m/s); - Pequenos a grandes volumes de material; - Poucos planos de deslocamento (externo); - Geometria e material variáveis: planares, circulares, em cunha.
Quedas (falls)	<ul style="list-style-type: none"> - Velocidades muito altas (vários m/s); - Sem planos de deslocamento; - Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado; - Material rochoso; - Pequenos a médios volumes; - Geometria variável: lascas, placas, blocos.
Corridas (flows)	<ul style="list-style-type: none"> - Velocidades média a altas; - Muitas superfícies de deslocamento; - Movimento semelhante ao de um líquido viscoso; - Desenvolvimento ao longo de drenagens; - Mobilização de solo, rocha, detritos e água; - Grandes volumes de material; - Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

De acordo com IPT (1991) os rastejos são movimentos de baixa velocidade (cm/ano), resultante do deslocamento do solo ao longo do tempo. Estão atribuídos a grandes volumes de solos, sem apresentar uma diferenciação visível entre o material estacionário e o material movimentado (Tominaga, 2012). A causa desta movimentação é a força da gravidade, associada a bruscas mudanças de temperatura e umidade no solo, ocasionando os movimentos de expansão e contração, sendo identificados através de feições típicas como troncos de árvores curvados,

postes inclinados, cercas desalinhadas e ondulações no solo (Figura 8) (USGS, 2013).

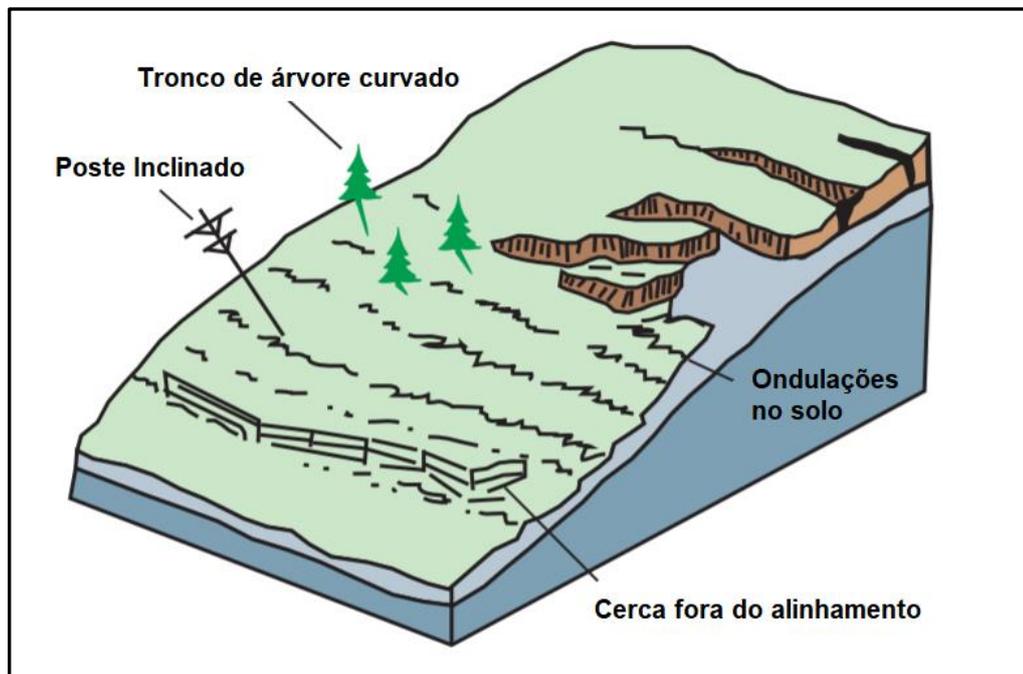


Figura 8. Modelo do movimento gravitacional de massa do tipo rastejo. Fonte: Modificado de USGS (2013).

Os escorregamentos são movimentos rápidos, com médias (m/h) a altas (m/s) velocidades, com pequenos a grandes volumes de solo deslocados (Augusto Filho, 1992). De uma maneira geral, um escorregamento ocorre quando a resistência ao cisalhamento do material e a tensão de cisalhamento na superfície potencial de uma movimentação decresce até atingir uma unidade (Guidicini & Nieble, 1984), ou seja, quando a força gravitacional vence a força de atrito interno das partículas, a massa de solo movimenta-se encosta abaixo (Tominaga, 2012). Os escorregamentos são condicionados por diferentes tipos de ruptura, sendo eles ruptura rotacional, planar e em cunha (Figura 9) (IPT, 1991). Os tipos de escorregamentos são subdivididos em três, de acordo com a geometria e natureza do material instabilizado, são eles: escorregamentos rotacionais ou circulares, planares ou translacionais e em cunha (Tominaga, 2012; USGS, 2013).

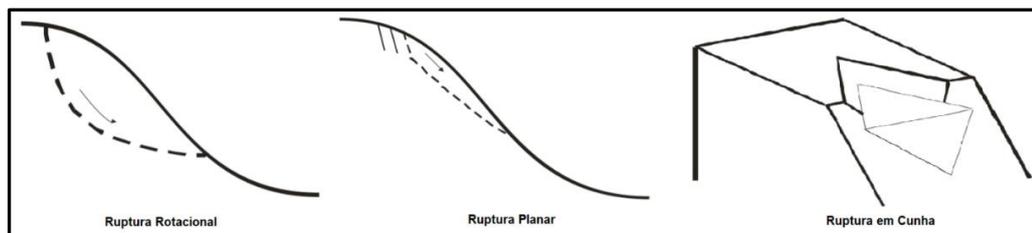


Figura 9. Tipos de ruptura que condicionam os escorregamentos. Fonte: Modificado de IPT (1991).

Os escorregamentos rotacionais são caracterizados por uma superfície de ruptura curva ao longo da qual se dá um movimento rotacional, sendo associados a existência de solos espessos e homogêneos, como os decorrentes da alteração de argilas (Tominaga, 2012). Ainda segundo a autora, este tipo de escorregamento é um fenômeno frequente no sudeste brasileiro, tornando-se em muitos momentos, um evento catastrófico.

Os escorregamentos planares formam superfícies com pouca ou nenhuma rotação, formando um movimento de solo linear a jusante da encosta (Highland & Bobrowsky, 2008). Os movimentos caracterizam-se por grandes extensões no comprimento e por serem rasos, em geral com o plano de ruptura variando de 0,5 a 5,0m de profundidade (Tominaga, 2012). Os movimentos ocorrem tanto em encostas de alta como de baixa declividade e podem atingir centenas de metros (Fernandes & Amaral, 1996).

Os escorregamentos em cunha são formados em rochas e solos, quando estruturas planares como falhas e fraturas se encontram, formando uma intersecção entre dois planos de fraqueza, aparecendo principalmente em taludes de corte e em encostas com algum tipo de desconfinamento ou descontinuidade, onde a forma e espaçamento dos planos indicam a forma e volume da cunha (Infanti & Fornasari, 1998).

A queda de blocos representa os processos de velocidades muito altas (vários m/s), com movimentos em queda livre pela ação da gravidade (Figura 10) (Augusto Filho, 1992; USGS, 2013). É um tipo de movimento recorrente em penhascos ou taludes íngremes, podendo estar associado a movimentos como saltação e rolamento (Tominaga, 2012). Ainda de

acordo com a autora, as causas para esses movimentos são variação térmica dos afloramentos, perda de sustentação na base, alívios de tensões de origem tectônica, vibrações e outras.

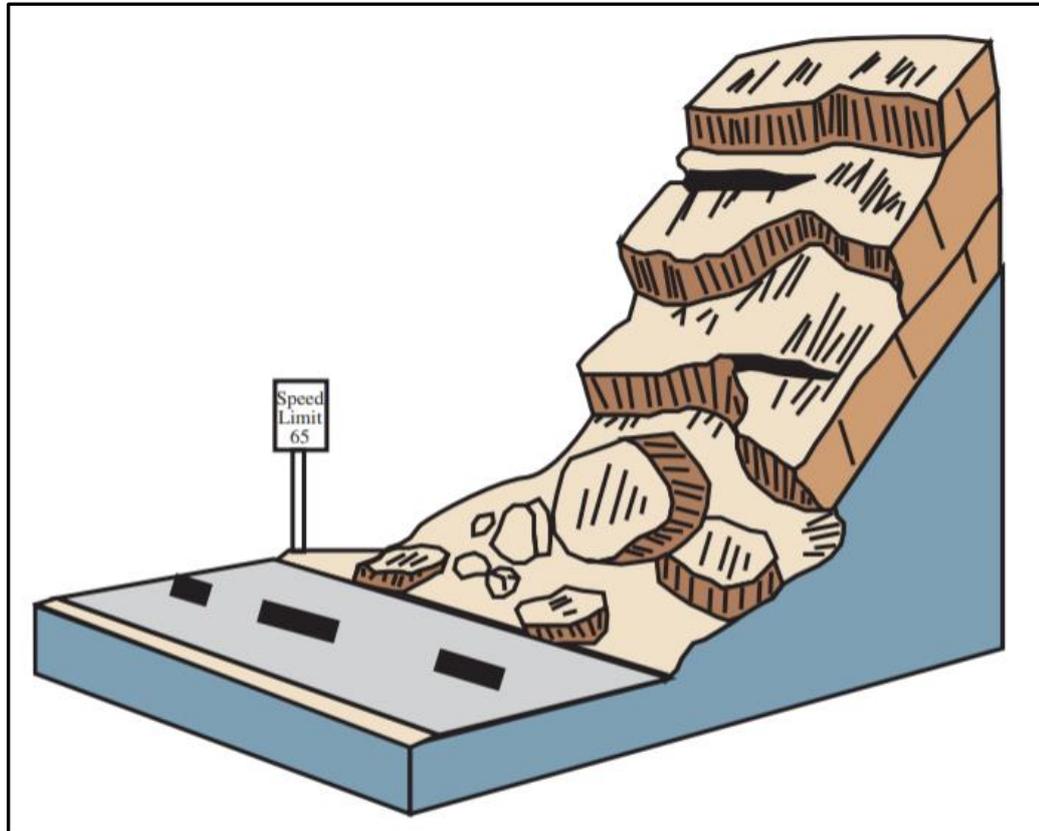


Figura 10. Modelo do movimento gravitacional de massa do tipo queda de blocos. Fonte: Modificado de USGS (2013).

As corridas são formas de escoamento de caráter hidrodinâmico, ocasionadas pela perda de atrito das partículas do solo, em virtude da erosão causada pelo excesso de água (Tominaga, 2012). Possuem grandes dimensões e são altamente destrutivas, resultado da confluência de inúmeros escorregamentos e alto aporte de detritos (Brito, 2014). A massa deslocada pode atingir grandes distâncias com muita rapidez, mesmo em área de baixa declividade (Guidicini & Nieble, 1984).

2.2.1.4 USO DA TERRA

De acordo com Bush *et al.* (1999) os terremotos, tsunamis, furacões, ondas de tempestade, inundação de rios, deslizamentos de terra e erosão costeira estão entre os processos naturais de alta intensidade e curto prazo de ocorrência, podendo afetar a região costeira. Ainda de acordo com os autores, quando há ocorrência de interferência humana nos processos naturais, estes eventos tornam-se risco geológico em perspectiva do ser humano. O uso da terra representa um importante fator na deflagração de processos erosivos, através da sua capacidade de identificação das diferentes ocupações, como o estado da vegetação no tabuleiro adjacente e interferências antrópicas na construção de estruturas civis (Dias & Herrmann, 2002).

As interferências antrópicas alteram o uso e ocupação natural da terra, através de sobrecargas no topo da vertente, escavação a meia vertente ou na base da vertente, irrigação, manutenção deficiente de sistemas de drenagem, remoção de vegetação, atividade mineiras e vibrações artificiais, principalmente de tráfego rodoviário e ferroviário, e maquinários pesados (Zêzere, 2005), com estes fatores interferindo de maneira desfavorável a evolução natural do terreno (Zêzere *et al.*, 1999).

A cobertura vegetal influencia nas mais diversas formas de estabilidade das encostas, podendo ser favorável ou desfavorável a preservação da área em questão (Brito, 2014). A influência positiva da vegetação apropriada para área da encosta que sustenta a falésia costeira é a interceptação e redistribuição da água da chuva por galhos e folhas, impedindo o impacto direto da chuva na superfície do terreno e retardando a infiltração de água no solo, acréscimo de resistência do solo provocado pelo reforço mecânico das raízes vegetacionais, retirada de umidade do solo pelas plantas e proteção contra o sol e as chuvas, evitando a troca brusca de temperatura do solo (Greenway, 1987). Neste sentido, na proposta de mapeamento da vulnerabilidade erosiva das falésias, por geoindicadores, Bush *et al.* (1999) propõem baixa vulnerabilidade com a presença de vegetação.

A vegetação inadequada, por outro lado, pode atuar de maneira desfavorável a preservação erosiva das encostas como falésias costeiras, através dos efeitos alavanca e cunha, que respectivamente representam um processo no qual as copas de árvores são atingidas por ventos, transmitindo um esforço para a encosta (Brito, 2014), e um processo no qual as raízes da vegetação penetram nas fendas e fraturas dos solos e rochas, desagregando os mesmos e conseqüentemente possibilitando uma maior infiltração de água (Varnes, 1958;1984).

2.2.2 OBTENÇÃO DE DADOS

2.2.2.1 TRABALHO DE CAMPO

Os pontos foram escolhidos por segurança de acesso e por superpor as estações dos levantamentos anteriores de Albino *et al.* (2006), Eguchi (2018) e Eguchi e Albino (2018). Foram necessárias duas diferentes campanhas, a primeira de reconhecimento preliminar e descrição de fácies, e a segunda de coleta de amostras.

A primeira campanha utilizou-se de um GPS de mão, bússola, ímã, lupa de mão (aumento 20x), trena, máquina fotográfica e o VANT. Também foram utilizados equipamentos de segurança contra o Corona Vírus, como máscaras e álcool gel, além do distanciamento social de 1,5m. O levantamento dos afloramentos da área foi executado utilizando-se de ficha descritiva com informações de localização (coordenada e toponímia). A partir do reconhecimento visual e primeiro contato com as diferentes fácies foram reconhecidas 4 camadas.

A segunda campanha teve por objetivo a coleta de amostras nas 4 camadas definidas anteriormente nas 3 falésias da área de estudo. A falésia do setor sul localiza-se próximo à entrada da empresa Samarco, nas coordenadas UTM 24K 0336121 E, 7702541 N, no setor central a falésia localiza-se em frente a uma cultura de pinheiros, nas coordenadas UTM 24K 0336626 E, 7703360 N e no setor norte a falésia localiza-se

próxima a entrada norte do bairro de Maimbá, nas coordenadas UTM 24K 0337487, E 7704593 N.

Primeiramente com uma pá foi realizada a raspagem da camada superficial, descartada devido a possíveis alterações intempéricas de processos de escorregamento do perfil, assim, com o martelo estratigráfico uma quantidade em torno de 500 gramas de sedimento será coletada e armazenada em saco hermeticamente fechado e identificados, por duas vezes em cada camada. Também foram retiradas amostras representativas e indeformadas de cada camada com aproximadamente 20 kg para os ensaios laboratoriais. A classificação sedimentológica das fácies, que foram nomeadas de A a D, foi realizada em tratamento laboratorial, metodologia que é detalhada no próximo capítulo.

2.2.2.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

A análise geológica deu-se em campo com descrições envolvendo arranjo arquitetônico das falésias, distribuição, espessura das camadas, e apresentação da coloração das fácies, que se dá por meio de escala de cores variando entre tons acinzentados até os avermelhados (Nickerson, 1976). Estruturas foram representadas pela fábrica e tipos de estratificação presente em cada uma das fácies, bem como a presença de feições de bioturbação. Os processos superficiais presentes no topo da falésia foram analisados através da classificação de processos erosivos e postos na descrição referente ao topo de cada perfil elaborado.

A caracterização das frações arenosas dos sedimentos ocorreu com uso de uma lupa binocular, com o intuito de complementar a observação macroscópica. Os materiais e equipamentos utilizados consistem essencialmente em: placa de Petri, ímã e pinças, além do estereomicroscópio. Como reagentes foram utilizados água oxigenada 20 volumes e solução de HCl 1:9. O exame utilizando a lupa deu-se após a homogeneização da amostra e com o uso do ímã foram separados os minerais magnéticos, posteriormente foram classificados os grãos minerais, observando as propriedades físicas de cor, hábito, brilho, clivagem e fratura (Teixeira *et al.*, 2017). Os reagentes se fazem

necessários para documentar a presença de óxidos de manganês, no caso da água oxigenada, e de material carbonático, no caso do HCl. Dessa forma, foi estimada a proporção modal de cada constituinte dos estratos.

Visto que o perfil é apresentado verticalmente, o posicionamento exato das amostras coletadas nas fácies é representado de forma pontual ao longo do perfil. Desta forma, de posse do croqui e dos dados de laboratório, foram confeccionados os perfis em meio digital através do *software* AUTOCAD 2021. Os perfis geológicos são a representação gráfica dos dados obtidos, nos quais são apresentados os dados de litologia, maturidade textural e estruturas, coloração, constituintes observados em microscópio, e o agrupamento das litofácies. A classificação litológica foi realizada com base em Folk (1954), onde serão utilizados os dados referentes à composição mineral, gerados a partir dos ensaios de DRX (item 3.3.3) e tamanho dos grãos a partir do peneiramento (item 3.3.1.1). Esta mesma análise é utilizada para representar o conteúdo dos constituintes que não sejam areia, argila e silte.

2.2.2.3 LEVANTAMENTO MORFOLÓGICO

A morfologia das Falésias foi descrita através de observações e anotações em campo e após, com auxílio de imagens de alta resolução do terreno. Foram descritas as dimensões, forma, orientação, declividade e curvatura em perfil das falésias costeiras. Na análise dos tabuleiros costeiros adjacentes as falésias foram consideradas seus recortes até o contato com a rodovia ES-060.

A forma das falésias foi obtida através de imageamento por VANT modelo *Phanton 3 Advanced* (Figura 11), através do método de sobreposição de fotos, que possibilitou a geração do modelo tridimensional do perfil morfológico das falésias. Na fase pré-campo foi realizada uma revisão bibliográfica da área a ser sobrevoada, para certificação da segurança do voo. Para aquisição das imagens é utilizado o VANT *Phantom 3 Advanced*, que está devidamente homologado na

Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL. Para o plano de voo utilizou-se o *software pix4d capture*, que possui comando automático de caminhamento do VANT, tornando o levantamento mais fácil e preciso. O *software* utilizado para processamento das imagens será o Agisoft Metashape, e posteriormente o *software* QGIS 3.12 para importação dos arquivos de imagens e confecção dos layouts. Na Figura 12 são sintetizadas as etapas desenvolvidas para a aquisição das imagens.

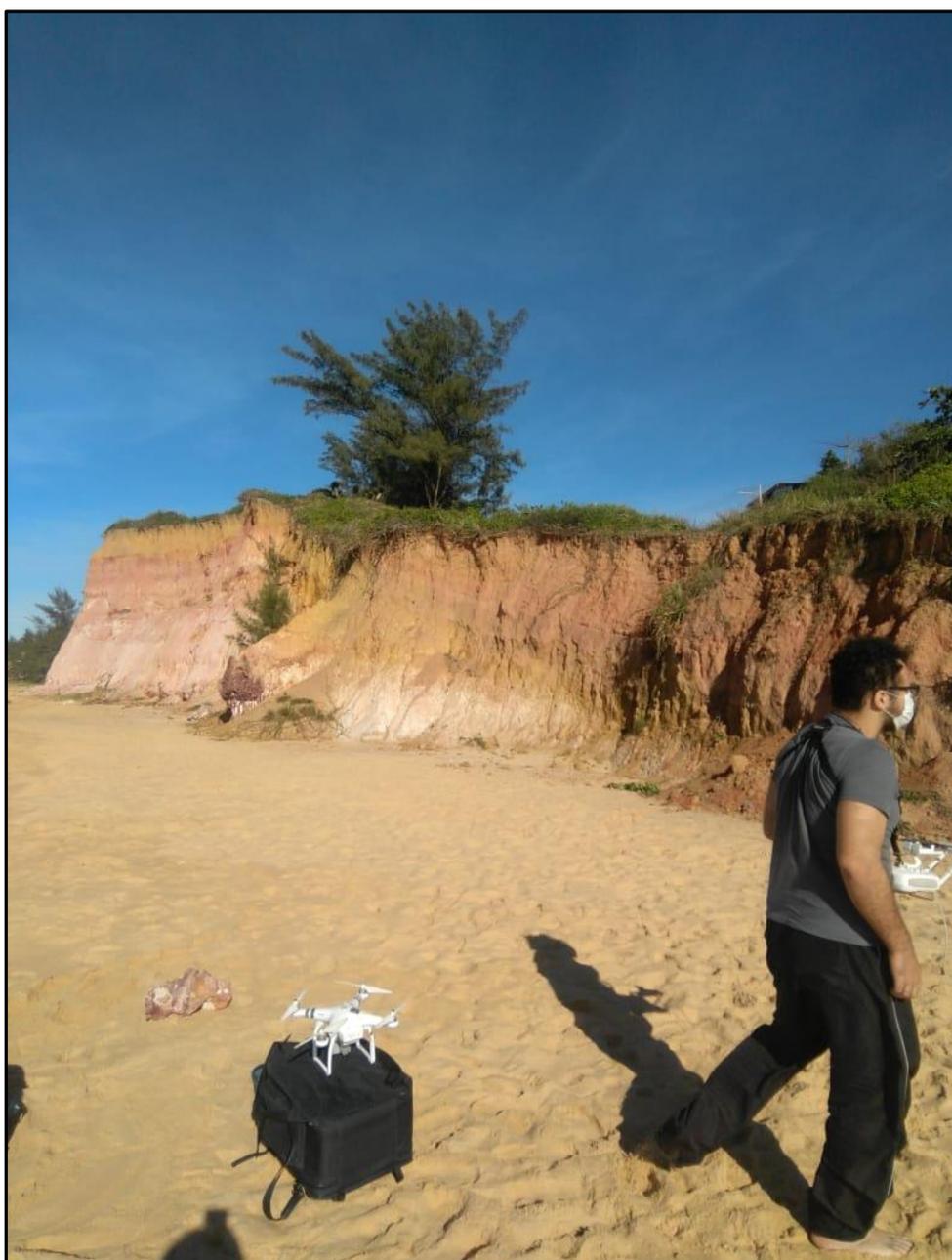


Figura 11. Imageamento das falésias por VANT modelo *Phanton 3 Advenced*.
Fonte: Autor.

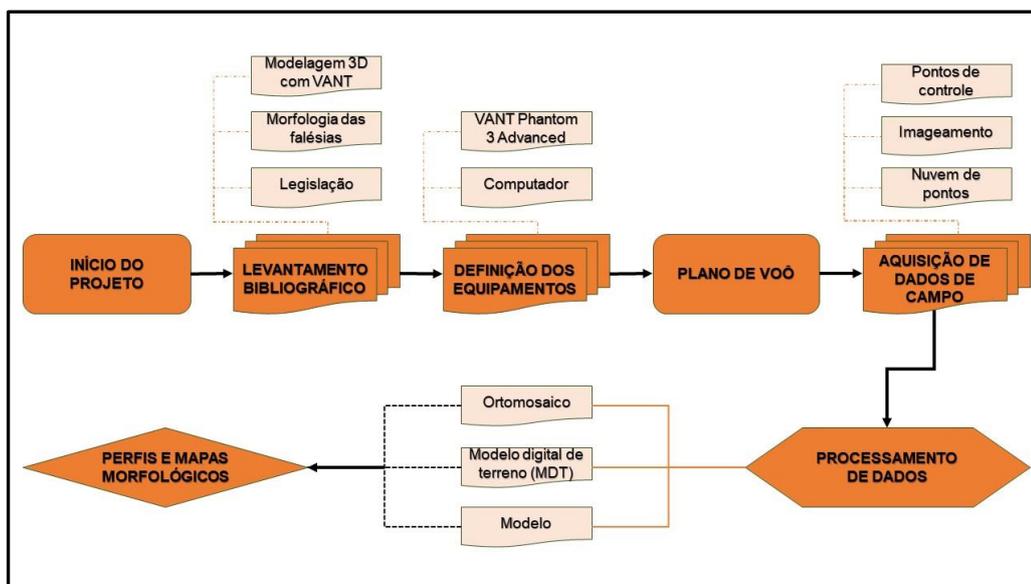


Figura 12. Fluxograma metodológico da aquisição morfológica das falésias.

A partir do levantamento das imagens foram identificadas as principais feições morfológicas em cada falésia, sendo descritas de acordo com suas dimensões, forma, orientação, declividade e curvatura em perfil.

2.2.2.3 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

A determinação dos movimentos gravitacionais de massa foi feita primeiro na observação em campo e posteriormente confirmadas a partir da análise das imagens de VANT. Os movimentos gravitacionais de massa, incluindo rastejo, deslizamento, queda de blocos e escorregamentos, além das feições erosivas como superfícies de erosão, ravinas e voçorocas foram descritos em uma tabela descritiva, que incluiu ainda os graus de intensidade, comprimento e espessura dos processos e feições erosivas (Quadro 2).

Quadro 2. Processos relacionados a movimentos de massa. Fonte: Autor.

Processos	Ocorrência	Frequência	Comprimento	Espessura
Rastejos	-	-	-	-
Escorregamentos	-	-	-	-
Quedas	-	-	-	-
Corridas	-	-	-	-
Feições				
Superfície de Erosão	-	-	-	-
Ravinas	-	-	-	-
Voçorocas	-	-	-	-

2.2.2.4 USO DA TERRA

Os diferentes usos da terra nos arredores das falésias que podem alterar os processos erosivos e/ou os movimentos de encosta foram identificados a partir do processamento das imagens de VANT, em ambiente SIG, associando as aerofotografias de alta resolução ao MDT (Modelo Digital do Terreno). As aerofotografias foram importadas para o *software* Agisoft Metashape, com posterior alinhamento e extração da nuvem de pontos, para gerar o MDT.

Com as aerofotografias e o MDT prontos, foram geradas as Ortofotos. Posteriormente, as ortofotos foram importadas nos formatos Tiff e GeoTiff para o *software* QGIS, confeccionando polígonos manualmente baseados em classes do uso da terra. Após toda vetorização e classificação do objeto de estudo, foram quantificadas as áreas em m² e em porcentagens, para melhor entendimento da situação local. Foi construído um mapa de uso da terra para cada falésia estudada. Foi feito um mapa em escala 1.3000.

2.3 RESULTADOS

2.3.1 DESCRIÇÃO LITOLÓGICA DAS FALÉSIAS COSTEIRAS

2.3.1.1 FALÉSIA 01 (SETOR SUL)

O perfil geológico da seção 01 é formado por 4 (quatro) diferentes fácies (Figura 13). Possui 395 m de comprimento e em média 17,5m de altura. A textura predominante na Falésia 01 é a maciça, com presença de estruturas erosivas expressivas. Há ocorrência de bioturbações por todas as camadas, com colorações amareladas, vermelhas e roxas.



Figura 13. Falésia 01, porção sul da área de estudo. Fonte: Autor.

A camada “A” possui uma espessura de 7,0m e é a base do perfil da falésia, formada por concreções lateríticas de coloração vinho, imersos em uma matriz silte-arenosa de coloração esbranquiçada (Figura 14). A matriz é formada por grãos finos que foram analisados mineralogicamente através do DRX, capítulo 3.3.3, sendo encontrado caolinita, óxido de cromo, hematita, quartzo, halita, fluorita, bornita e sílica, com poucos

grãos de quartzo e feldspato imersos em meio a matriz. As texturas desses grãos variam de angulosos a muito angulosos.



Figura 14. Porção esbranquiçada da Camada "A", a matriz da fácies. Fonte: Autor.

A camada "B" tem 6,0m de espessura, possui coloração rosada, é matriz suportada, formada por argila, silte, e grãos de areia grossa a granulo. A matriz é mineralogicamente composta por caolinita, óxido de cromo, hematita, quartzo, bornita e halita. Texturalmente são sub-angulosos, e sub-arredondados a arredondados.

A camada "C" possui coloração vermelha/ferruginosa, com aproximadamente 2,0m de espessura. Esta camada é marcada em seu topo por um fluxo de paleocorrente com 15cm de espessura, evidenciando seixos imbricados na direção NE-SW. Esta camada é matriz suportada, composta mineralogicamente por caolinita, óxido de cromo, hematita, quartzo, fluorita, cromo, halita, sílica e bornita, possuindo fragmentos de óxido de ferro e quartzo, que variam de areia grossa a grânulos, e

possuem texturas angulosas a sub-angulosas e sub-arredondados a arredondados.

A camada “D” é a do topo da falésia, de coloração amarela/bege, com aproximadamente 2,5m de espessura. É a camada que sofre as maiores influências das alterações biológicas, causadas pelas raízes das árvores na superfície. Esta fácies é matriz suportada, com os grãos sub-angulosos a muito angulosos. A mineralogia é composta por caolinita, óxido de cromo, hematita, quartzo, fluorita, cromo, halita, sílica e bornita. O perfil litológico da Falésia 01 é mostrado a seguir (Figura 15).

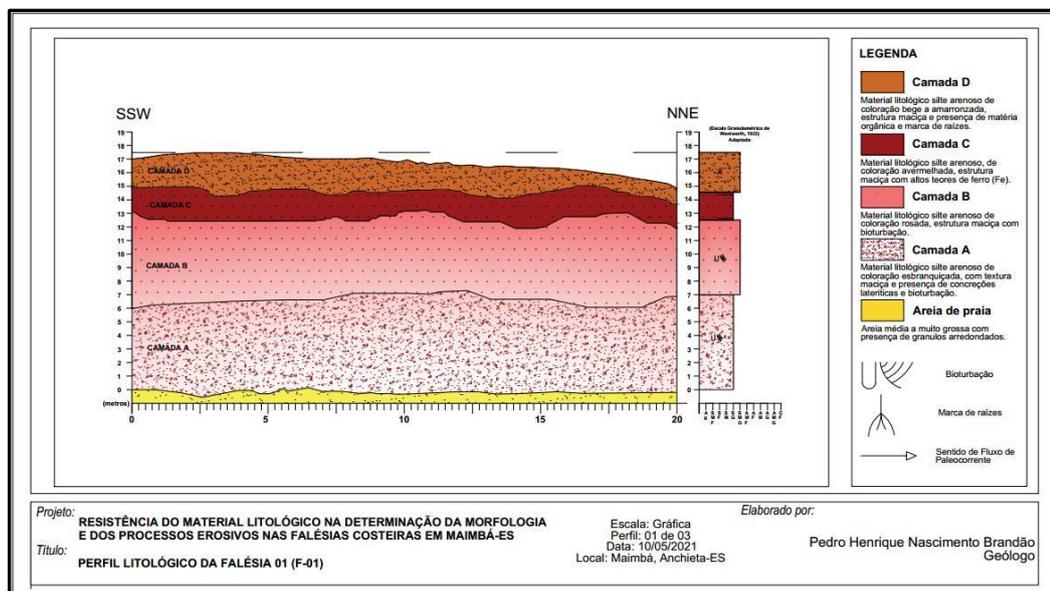


Figura 15. Perfil litológico da F-01.

2.3.1.2 FALÉSIA 02 (SETOR CENTRAL)

A seção 02 (Figura 16) é formada por 3 (três) diferentes fácies no seu perfil geológico, possui cerca de 225 m de comprimento e 13 de altura. Possui estrutura maciça, sem presença de falhas ou fraturas evidentes. Há presença de bioturbações centimétricas nas colorações roxas e amareladas.



Figura 16. Falésia F-02, porção central da área de estudo.

A camada “A” é base do perfil geológico e possui 6,0m de espessura, formada em sua base por uma consistente laterita de aproximadamente 2,0m de espessura, com a porção caolinita de coloração esbranquiçada logo acima com 4,0m de espessura. A porção caolinítica é matriz suportada, textura homogênea, formada por caolinita, hematita, quartzo, óxido de cromo, fluoreto de cálcio e cloreto de sódio, encontrados na porção fina, através do método de difratometria de raio-x, vide capítulo 3. 3. 3.

A camada “B” vem logo acima da camada “A” no perfil litológico da Falésia F-02, possui 5,0m de espessura e perfaz contato abrupto, marcado pela quebra de relevo (Figura 17). Possui coloração rosada, textura homogênea e é pouco consolidada. É matriz suportada composta por caolinita, óxido de cromo, hematita, quartzo, óxido de cobre e ferro, cloreto de sódio e cromo.



Figura 17. Camada "B" no centro da falésia, de coloração rosada.

Esta Falésia não possui camada "C", a camada de coloração avermelhada, podendo representar um hiato deposicional. A camada "D" é o topo do perfil geológico, possui coloração bege a amarelada, e cerca de 2,0m de espessura. É a camada que sofre as maiores influências das alterações biológicas, causadas pelas raízes da vegetação e ações antrópicas na superfície. Esta fácies é matriz suportada, com os grãos angulosos e arredondados de quartzo e feldspatos emersos em meio a matriz. É composta por caulinita, hematita, óxido de cromo, quartzo, óxidos de cobre e ferro, fluoreto de cálcio, cromo e cloreto de sódio (vide capítulo 3.3.3). Na figura 18 é representado o perfil geológico da Falésia 02.

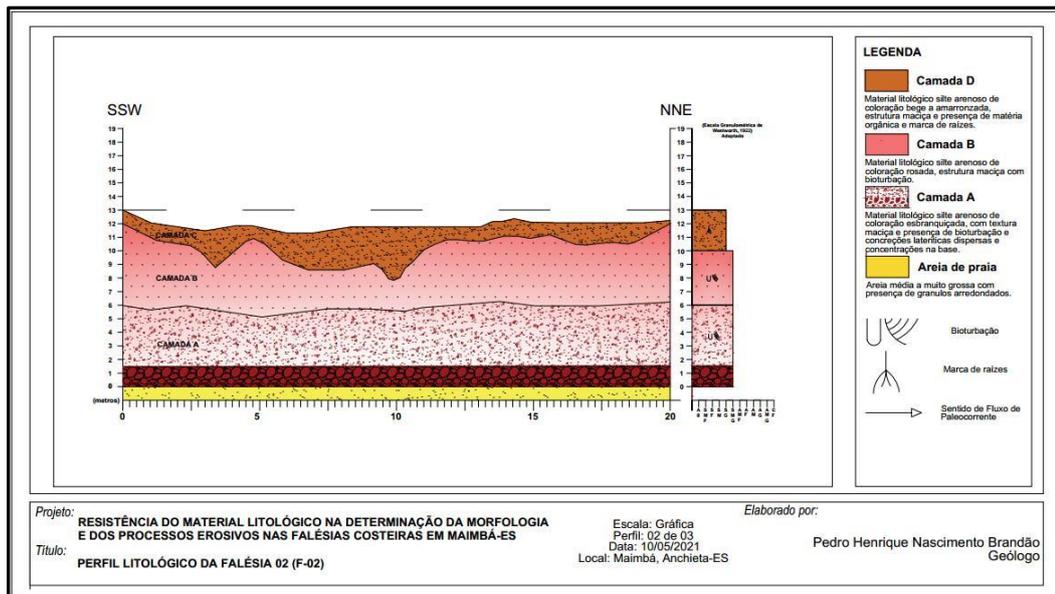


Figura 18. Perfil litológico da F-02. Fonte: Autor.

2.3.1.3 FALÉSIA 03 (SETOR NORTE)

Esta seção possui 337 m de comprimento e cerca de 18m de altura. A estrutura presente é a maciça, com as camadas apresentando formato tabular e alta quantidade de óxidos de ferro por toda falésia (Figura 19).



Figura 19. Falésia F-03, porção norte da área de estudo. Fonte: Autor.

A camada “A” é a base do perfil geológico da F-01 representada por uma mescla equivalente entre lateritas (50%), de coloração ferruginosa e a porção caolinítica (50%) de coloração esbranquiçada (Figura 20). Possui espessura de 6,0m, com textura mesclada entre as duas porções. As porções lateríticas são formados por carapaças ou placas ferruginosas abauladas, de espessura centimétrica. A porção caolinítica é formada por caolinita, óxido de cromo, hematita, óxido de cobre e ferro, quartzo e cloreto de sódio. Há presença de porções caoliníticas aprisionadas dentro de placas de lateritas, formando uma estratificação plano paralela de diferentes cores dentro da fácies, com espessuras laminar.



Figura 20. Camada "A" da F-03, mostrando a mescla entre as porções lateríticas e caoliníticas. Fonte: Autor.

A camada "B" sucede a camada "A" de maneira gradual, possuindo 7,0m de espessura e coloração rosada. Sua textura é homogênea, pouco coesa e facilmente desagregável. É uma camada matriz suportada, com grãos variando de areia média a silte/argila. A composição mineralógica é dada por caolinita, óxido de cobre e ferro, óxido de cromo, hematita, quartzo e cromo.

A camada "C" possui aproximadamente 2,0m de espessura e tem coloração avermelha/ferruginosa. É delimitado em sua base e seu topo por fluxos de paleocorrentes, com seixos imbricados a SW-NE. É matriz suportada, com os grãos do arcabouço variando de grânulos a areia grossa, e a matriz areia média a silte/argila. A porção fina é formada por caolinita, quartzo, hematita, óxido de cromo, sulfeto de cobre e ferro.

A camada "D" representa o topo do perfil geológico, possui coloração amarelada/bege, e 3,0m de espessura. Faz contato abrupto com a camada "C", e é a camada mais afetada pelas intempéries superficiais provocadas pela ação da vegetação. É composta

mineralogicamente por quartzo, caulinita, hematita, óxido de cromo, fluorita, halita e bornita. A figura 21 mostra o perfil geológico da Falésia 03.

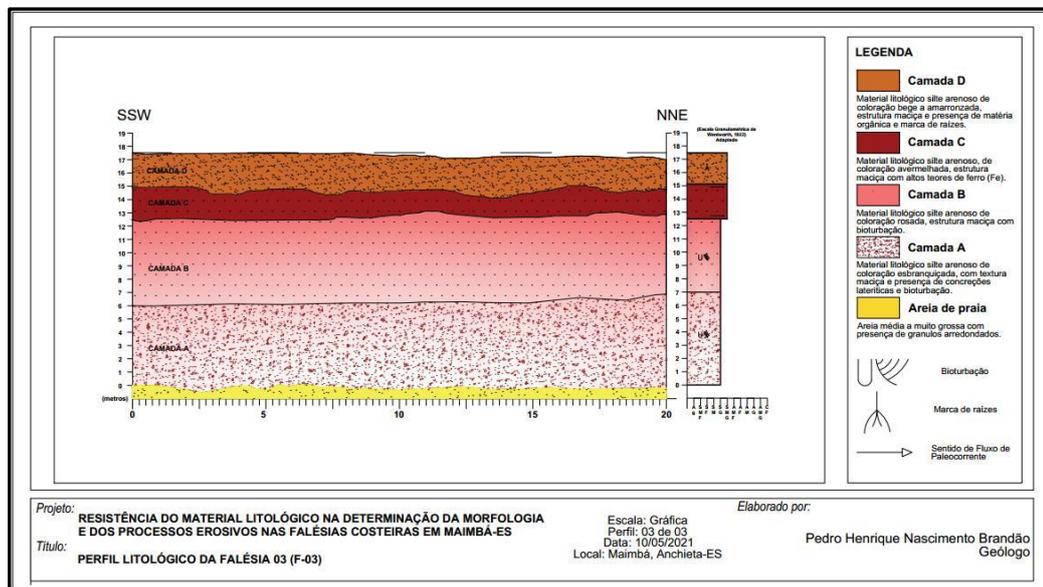


Figura 21. Perfil litológico da F-03. Fonte: Autor.

2.3.2 MORFOLOGIA DO PERFIL DAS FALÉSIAS E DOS TABULEIROS COSTEIROS

2.3.2.1 SETOR SUL

Visto em planta, o perímetro do tabuleiro costeiro adjacente a F-01 assemelha-se a uma lente, com a maior largura no meio do tabuleiro e afinando as camadas em largura e altura para as pontas (Figura 22). Está orientado a SW-NE, com sua frente voltada preferencialmente para E. Em Relação a falésia, a declividade da vertente está em torno de 45° (Figura 23), a curvatura predominante é a côncava, e a amplitude de relevo é por volta de 15m.



Figura 22. Contorno do tabuleiro costeiro adjacente a F-01, mostrando seu formato lenticular. Fonte: Autor.

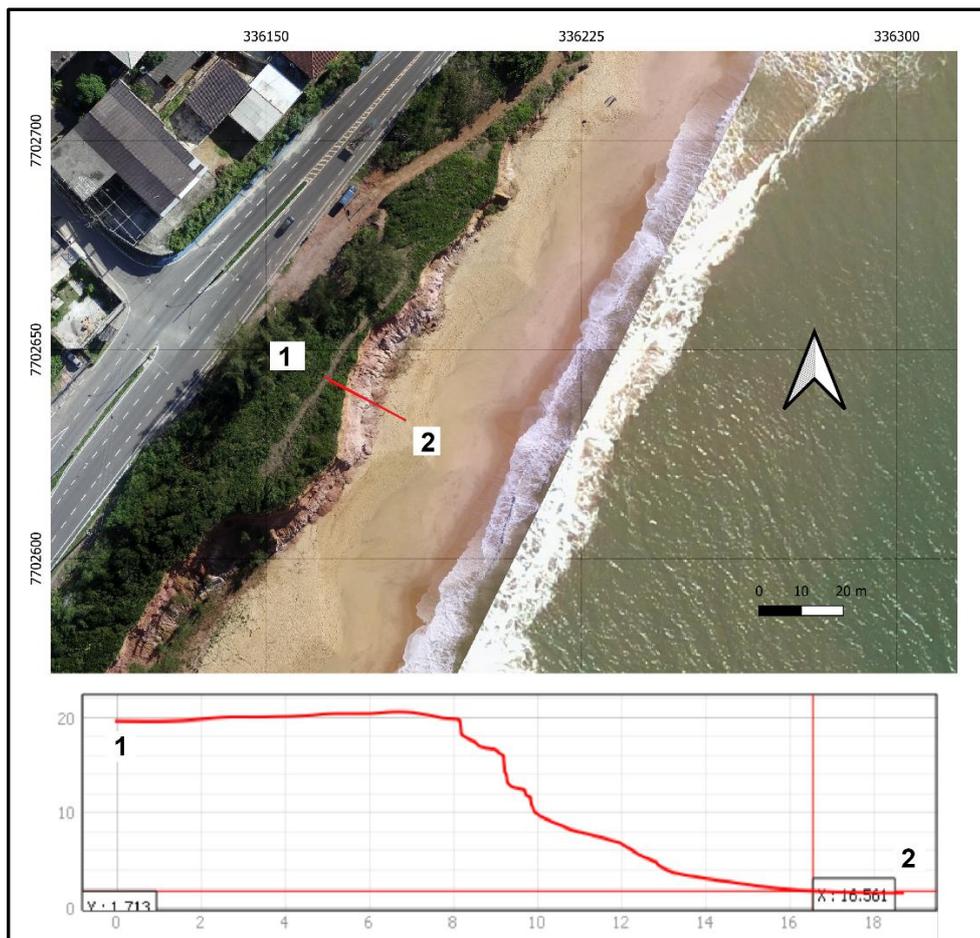


Figura 23. Perfil topográfico da falésia, indicando a declividade a 45° . Fonte: Autor.

2.3.2.2 SETOR CENTRAL

A Falésia 02 tem o tabuleiro costeiro adjacente com perímetro de formato lenticular, com algumas reentrâncias nas pontas. Está orientada a SW-NE (Figura 24). A declividade da F-02 varia por todo afloramento, com valores entre 65° e 90° , a curvatura é suavemente côncava e retilíneo em algumas porções (Figura 25).



Figura 24. Contorno da F-02, mostrando sua forma lenticular, com reentrâncias nas pontas. Fonte: Autor.

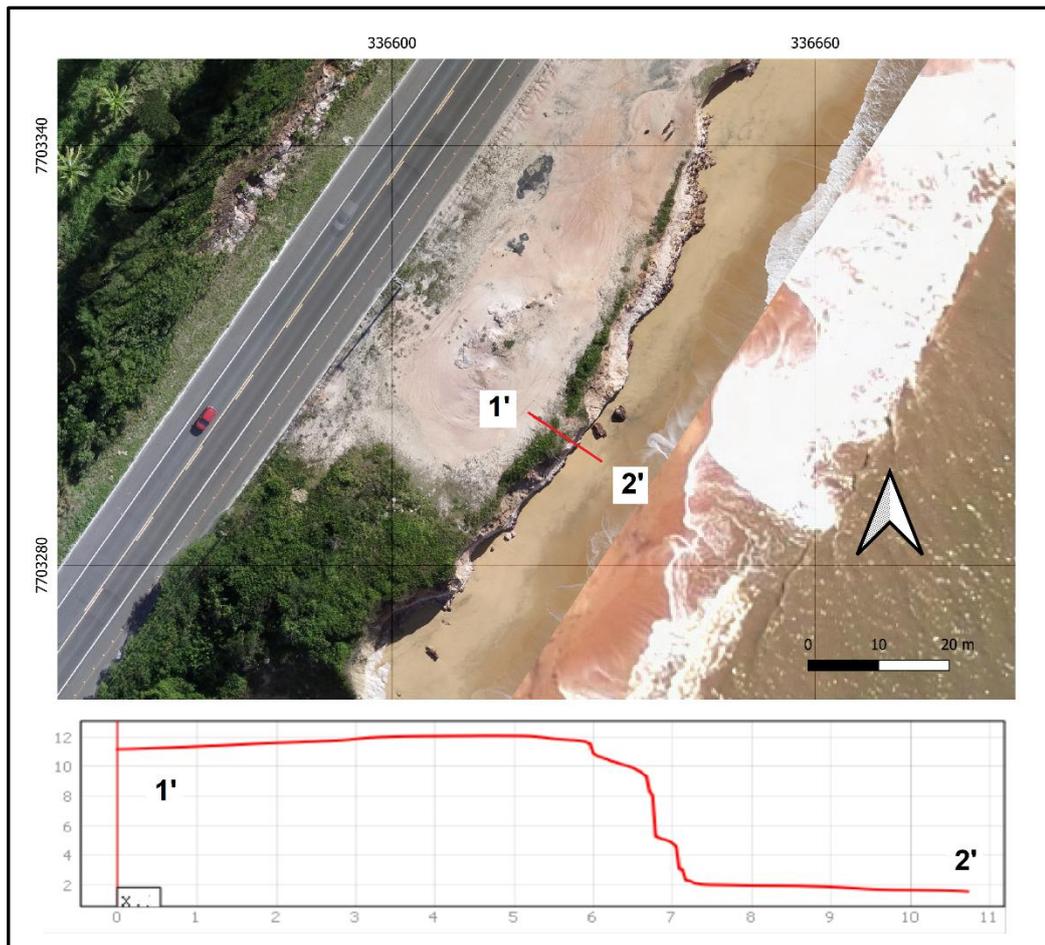


Figura 25. Perfil topográfico da F-02, mostrando um ângulo médio de declividade entre 65° e 90° . Fonte: Autor.

2.3.2.3 SETOR NORTE

Vista em planta, o tabuleiro adjacente a F-03 possui perímetro com formato lenticular e reentrâncias na sua parte frontal. Sua orientação é SW-NE (Figura 26). A declividade da F-03 é variável por todo afloramento, com ângulo de inclinação variando entre 45° na parte basal, até 90° na parte superior do perfil morfológico da falésia, com curvaturas retilíneas e convexas (Figura 27).

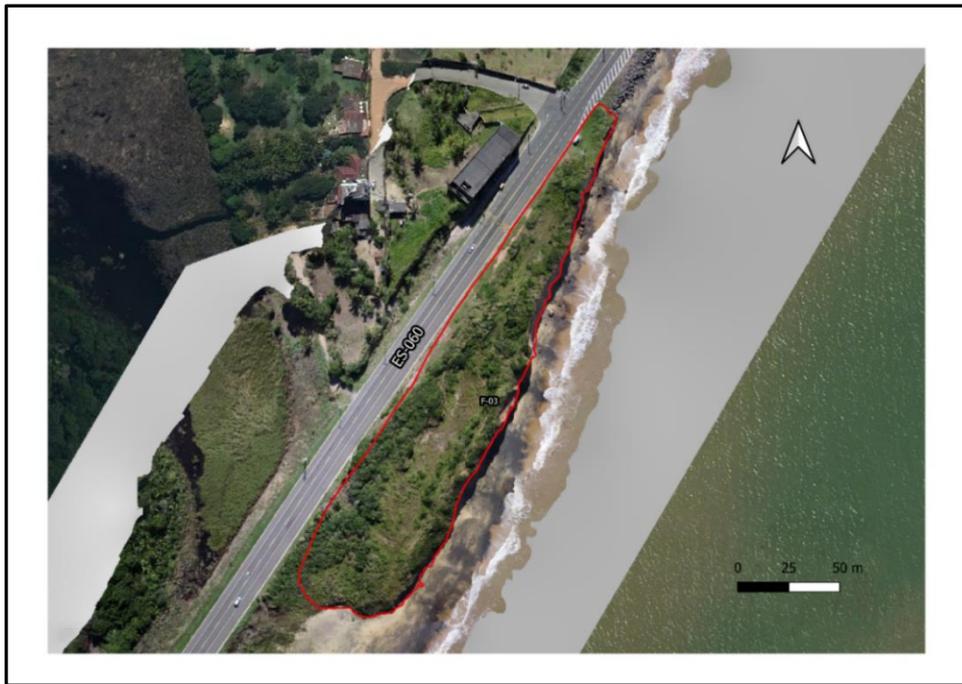


Figura 26. Morfologia da F-03 vista em planta. Fonte: Autor.

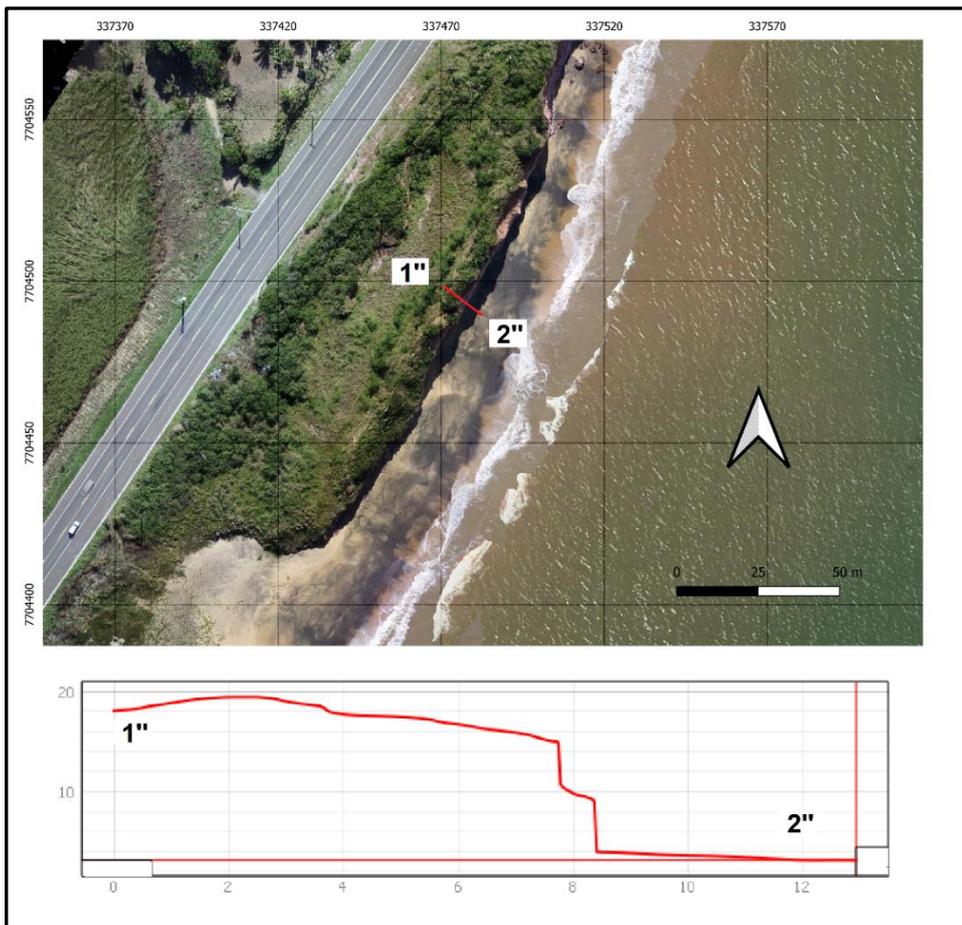


Figura 27. Perfil topográfico da F-03, mostrando um ângulo médio de declividade entre 45° e 90° . Fonte: Autor.

Após a confecção dos produtos cartográficos e descrições a morfologia mostrou-se com variadas descrições entre as 3 falésias, e até mesmo variações dentro de uma mesma falésia, como no caso da falésia 01. A F-01 é a que possui menor declividade entre todas, com ângulo médio de 45° e é côncava, com a base maior que o topo. De acordo com o modelo proposto por Emery e Kuhn (1982) a erosão desta falésia configura-se com uma erosão subaérea maior que a erosão marinha. A F-02 possui menores dimensões entre todas, com uma menor altura de perfil interferindo na declividade, na qual possui os maiores valores, variando entre 65° e 90° . Esta falésia é bastante escarpada, e de acordo com Emery e Kuhn (1982) possuem proporções iguais entre a erosão marinha e subaérea, com porções de erosão marinha superior. A F-03 possui grandes dimensões, com declividades que variam entre 45° e 90° . Ainda de acordo com os autores, esta falésia possui erosão marinha maior ou muito maior que a erosão subaérea.

2.3.3 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA NAS FALÉSIAS

2.3.3.1 SETOR SUL

A F-01 é caracterizada por apresentar evidentes movimentos de massa e feições erosivas em sua porção central e norte (Figura 28). Ocorrem os processos dos tipos rastejo, escorregamento, queda de blocos, e feições erosivas como as superfícies de erosão, ravinas e duas voçorocas.

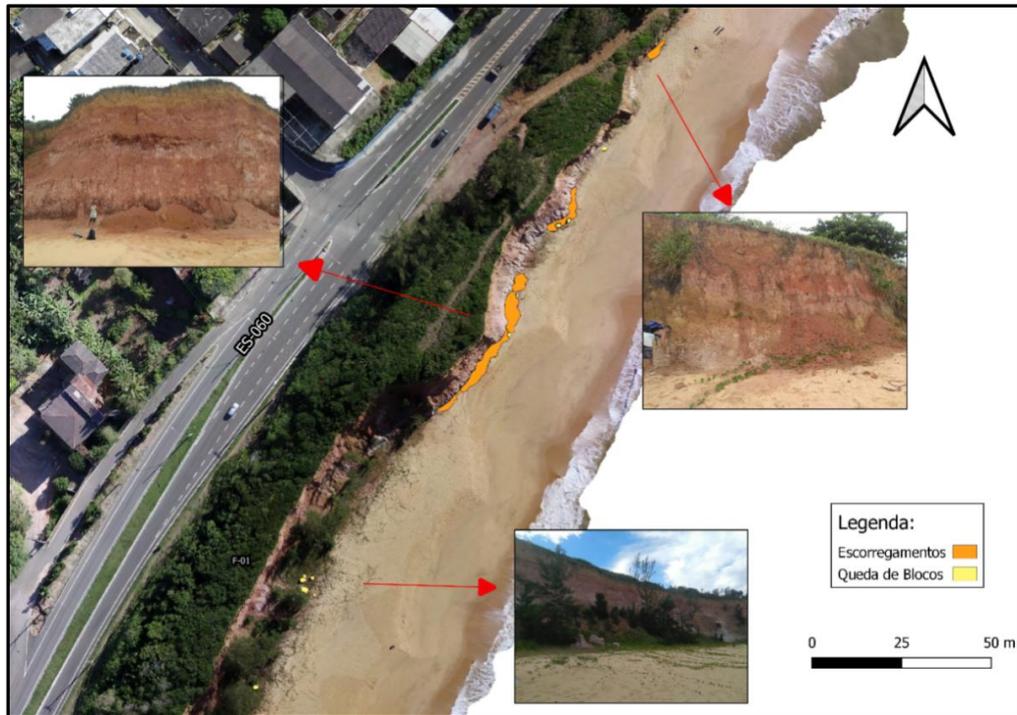


Figura 28. Mapa de escorregamentos e queda de blocos da F-01. Fonte: Autor.

Os escorregamentos são os movimentos gravitacionais de massa com maior frequência, seguido pela queda de blocos e rastejos. Há presença de muitas superfícies de erosão por todo o afloramento, ocorrendo principalmente nas camadas superiores (Figura 29). Há ocorrência de um conjunto de ravinas subverticais na porção central da falésia (Figura 30) e presença de 2 (duas) voçorocas (Figura 31) vistas em imagem aérea multiespectral (Quadro 3).

Quadro 3. Tabela de processos e feições erosivas da F-01.

Processos	Ocorrência	Frequência	Comprimento (m)	Espessura (m)
Rastejos	Sim	Média	1 a 3	2 a 4
Escorregamentos	Sim	Alta	1 a 5	6 a 10
Quedas	Sim	Médio	1 a 3	1 a 3 x 1 a 2
Corridas	Não	-	-	-
Feições				
Superfície de Erosão	Sim	Alta	0,5 a 4	0,1 0,3
Ravinas	Sim	Alta	1 a 6	0,1 a 0,5
Voçorocas	Sim	Baixa	6 a 8	1 a 2

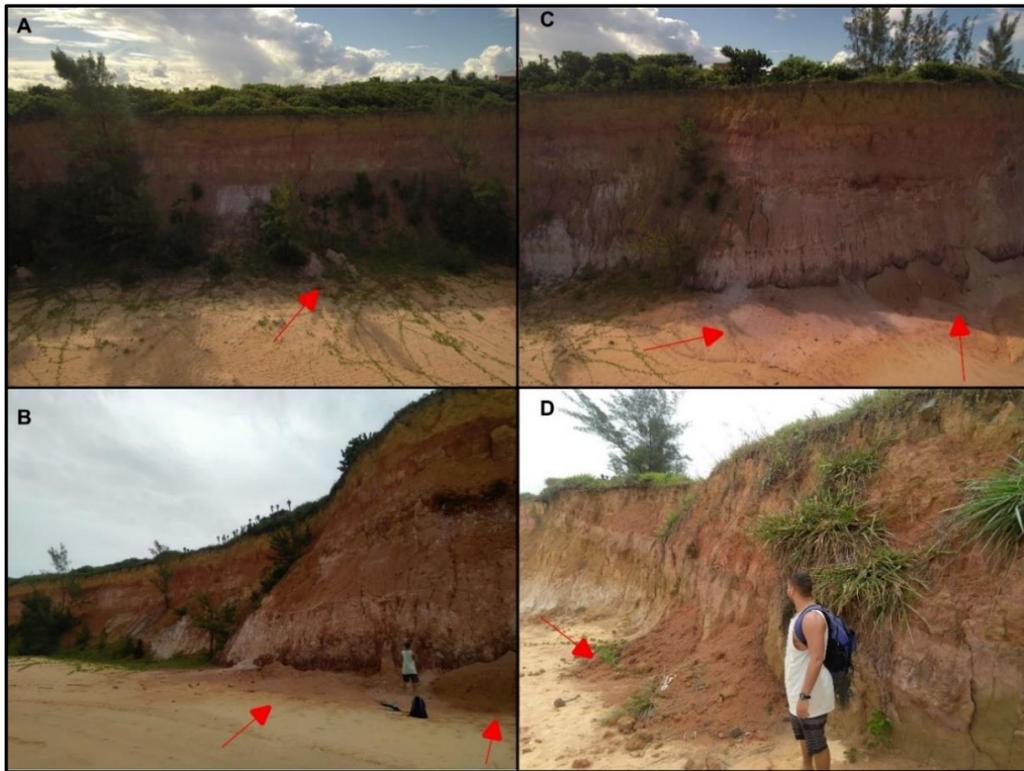


Figura 29. Sequência de fotos mostrando as principais feições erosivas da F-01. A) Queda de blocos de coloração rosada, porção sul; B, C) Escorregamento na porção central; D) Escorregamento com presença de lateritas e pequenos blocos na porção norte. Fonte: Autor.



Figura 30. Conjunto de ravinas subverticais. Fonte: Autor



Figura 31. Parte central da F-01, mostrando os escorregamentos, as quedas de blocos, e as duas voçorocas. Fonte: Autor.

2.3.3.2 SETOR CENTRAL

A F-02 é caracterizada por apresentar poucos movimentos gravitacionais, localizados pontualmente na porção sul do afloramento (Figura 32). Há ocorrência de ravinas principalmente na camada A e superfícies de erosão nas camadas B e D, ambas com média frequência.

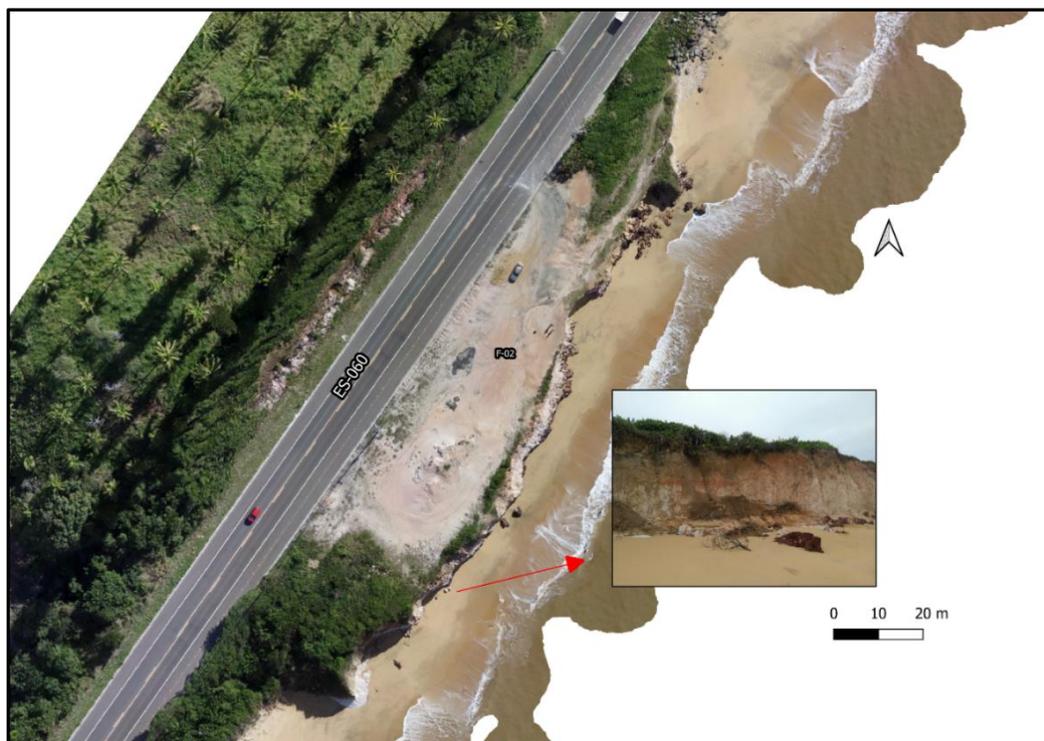


Figura 32. Ocorrência pontual de queda de blocos e escorregamentos. Fonte: Autor.

Os blocos encontrados possuem coloração rosada, e escorregamentos de coloração amarronzada. As ocorrências desses movimentos são baixas, enquanto as ravinas e superfícies de erosão aparecem por todo afloramento (Quadro 4) (Figura 33). Acima da porção norte da F-02, é encontrado uma feição erosiva na beira da estrada, caracterizando uma ruptura circular (Figura 34).

Quadro 4. Movimentos gravitacionais de massa e feições erosivas na F-02. Fonte: Autor.

Processos	Ocorrência	Frequência	Comprimento (m)	Espessura (m)
Rastejos	Não	-	-	-
Escorregamentos	Sim	Baixa	1 a 4	2 a 6
Quedas	Sim	Baixa	1 a 1,5	1 a 2 x 1 a 2
Corridas	Não	-	-	-
Feições				
Superfície de Erosão	Sim	Média	0,5 a 2	0,1 0,3

Ravinas	Sim	Média	1 a 3	0,1 a 0,5
Voçorocas	Não	-	-	-



Figura 33. Conjunto de superfícies de erosão nas camadas B e D. Fonte: Autor.



Figura 34. Destruição de parte da estrada ES-060, evidenciando uma estrutura de ruptura circular. Fonte: Autor.

2.3.3.3 SETOR NORTE

A F-03 é caracterizada por apresentar grande extensão e altura, porém, não há ocorrência de frequentes movimentos gravitacionais de massa e feições erosivas expressivas, provavelmente devido à remobilização dos blocos pelas ondas. A maior ocorrência de processos e feições erosivas são a norte da F-03, com parte da estrada ES-060 destruída (Figura 35), apresentando feições típicas como rupturas circulares e planares, superfícies de erosão e movimentos gravitacionais de massa, principalmente queda de blocos, ocasionado pela ruptura do asfalto que está logo acima do perfil da falésia (Quadro 5).

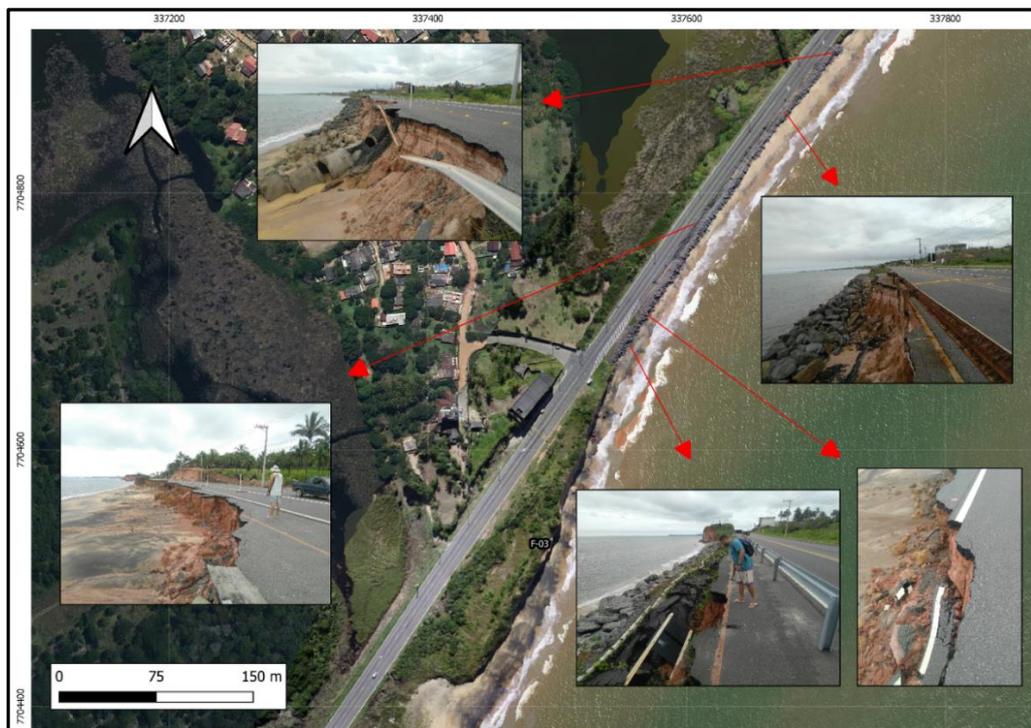


Figura 35. Movimentos gravitacionais de massa e feições erosivas presentes acima da porção norte da F-03. Fonte: Autor.

Quadro 5. Processos e feições erosivas da F-03. Fonte: Autor.

Processos	Ocorrência	Frequência	Comprimento (m)	Espessura (m)
Rastejos	Sim	Média	1 a 3	1 a 4
Escorregamentos	Sim	Média	1 a 4	2 a 6
Quedas	Sim	Alto	1,5 a 2	2 a 3 x 2 a 3
Corridas	Não	-	-	-
Feições				
Superfície de Erosão	Sim	Média	0,5 a 2	0,1 0,3
Ravinas	Sim	Média	1 a 3	0,1 a 0,5
Voçorocas	Não	-	-	-

Os movimentos gravitacionais de massa possuem diferentes respostas nas falésias estudadas. As falésias mais altas possibilitam maior ocorrência de movimentos gravitacionais de massa, como nos setores sul e norte. Por ser a mais alta e ter uma faixa de areia mais espessa, a F-01 evidencia as maiores movimentações gravitacionais de massa, com presença de queda de blocos, escorregamentos e sinais de rastejo. A F-02 possui menor altura, ocasionando menor ocorrência de movimentos gravitacionais de massa. A F-03 é alta, porém em frente ao perfil não há evidências de blocos e escorregamentos, provavelmente devido ao retrabalhamento destes pela ação das ondas. Ao norte da falésia 03 é a região onde há maior ocorrência de processos e feições erosivas e consequente destruição da beirada da estrada ES-060, do trecho do ponto de ônibus próximo a falésia 03 até o fim das obras de enrocamento de pedra, sentido Meaípe. São vistas feições do tipo rupturas circulares e planares, fraturas nas bordas, queda do meio fio e de placas de sinalização.

2.3.4 MAPEAMENTO DO USO DA TERRA E FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS NO ENTORNO DAS FALÉSIAS

2.3.4.1 SETOR SUL

O mapa de uso da terra e feições geomorfológicas na F-01 é composto por 9 elementos, sendo os temas: Falésia, Faixa Praial, Vegetação sobre tabuleiro costeiro, Trilha, Tabuleiro Costeiro, Construção Civil, Lagoa de Maimbá, Estrada e Vegetação (Figura 36).

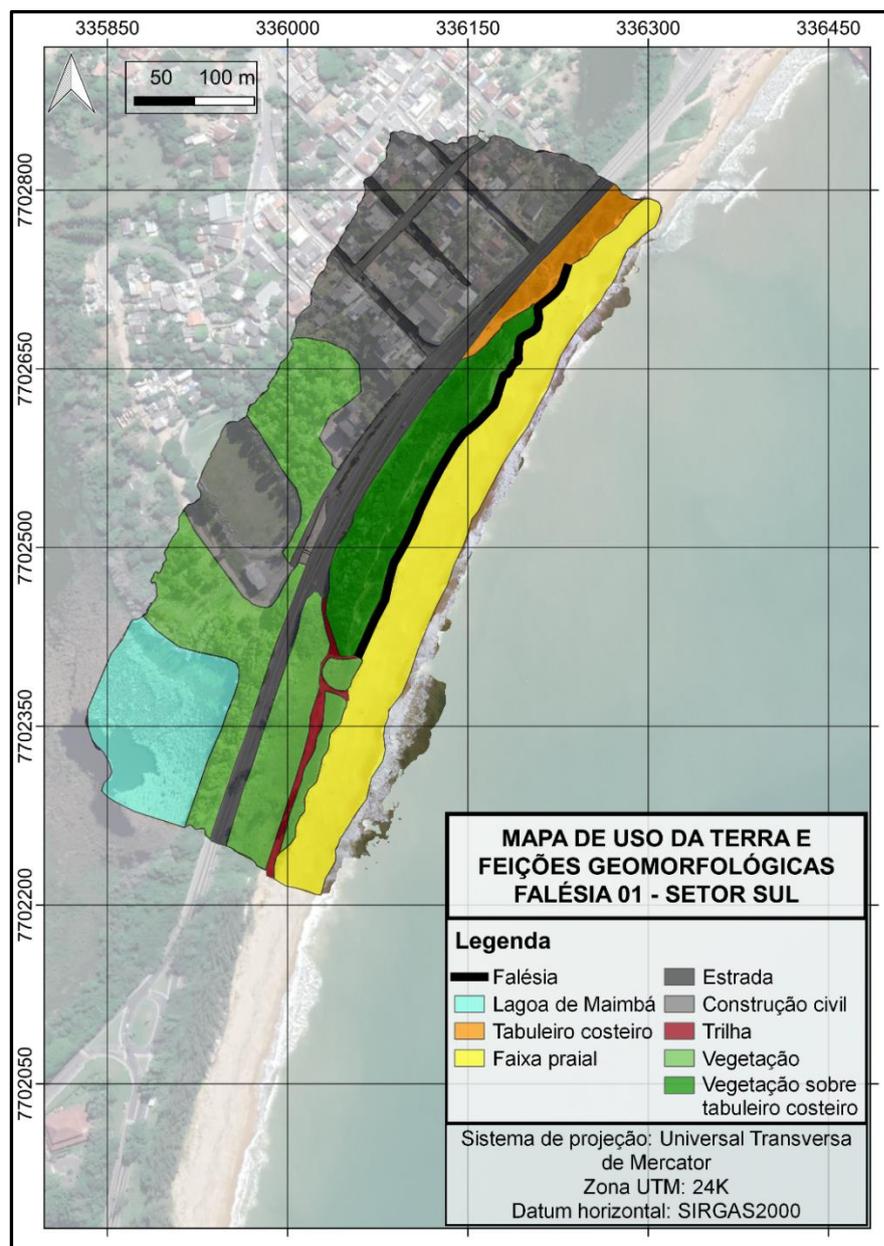


Figura 36. Mapa de uso da terra e feições geomorfológicas da F-01. Fonte: Autor

As maiores áreas pertencem aos temas de Construção Civil (37.101 m²), Vegetação (28.667 m²), Faixa praial (25.206 m²), Estrada (15.570 m²), Lagoa de Maimbá (14.188 m²) Vegetação sobre tabuleiro costeiro (11.269 m²), Tabuleiro costeiro (3.709 m²) e Trilha (1.584 m²). A falésia possui fronteiras com a estrada a oeste, a trilha a sul, vegetação a sul e a leste, e faixa praial a leste. Dentre as feições geomorfológicas que mais afetam a F-01, a faixa praial pode ser considerada um fator importante, já que é a faixa praial mais espessa em relação aos outros pontos estudados, protegendo as falésias de ataque constante das ondas. A estrada neste ponto é considerada a de maiores dimensões e que possui maior distância para o mar, em relação aos outros pontos estudados, indicando uma menor probabilidade do ataque de ondas.

2.3.4.2 SETOR CENTRAL

A F-02 é composta por 7 elementos, sendo eles a Falésia, Faixa Praial, Tabuleiro Costeiro, Vegetação sobre Tabuleiro Costeiro, Lagoa de Maimbá, Estrada e Vegetação (Figura 37). O mapa de uso da terra da F-02 possui uma área total de 66.163 m², com a Falésia possuindo extensão de 225 m. As maiores áreas pertencem aos temas Lagoa de Maimbá (10.834 m²), Vegetação (24.791 m²), Faixa praial (16.752 m²), Estrada (7.853 m²) e Vegetação sobre tabuleiro costeiro (3.095 m²). A falésia possui fronteiras com a estrada a oeste, vegetação a sul e norte, e faixa praial a leste. Sua faixa praial e estrada possuem menores dimensões que a F-01, com a estrada próximo a linha do mar. Esta combinação gerou uma ruptura circular entre a estrada e a faixa praial, configurando uma área de risco geológico.

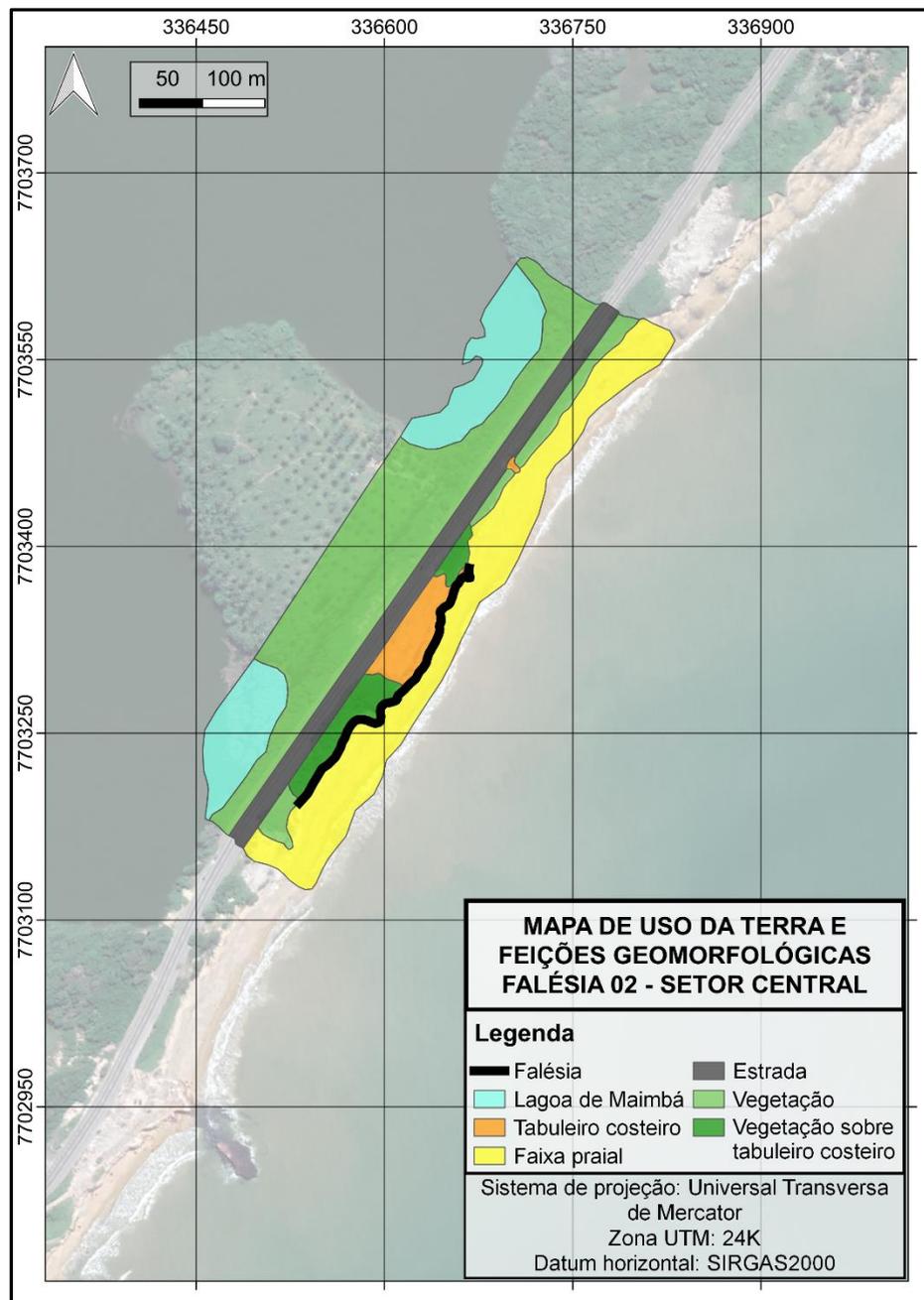


Figura 37. Uso da terra e feições geomorfológicas da F-02. Fonte: Autor.

2.3.4.3 SETOR NORTE

O mapa de uso da terra e feições geomorfológicas da F-03 é composto por 9 elementos que foram classificados de acordo com a visualização de imagens aéreas de alta resolução, sendo os temas: Falésia, Faixa Praial, Trilha, Tabuleiro Costeiro com Vegetação, Tabuleiro Costeiro, Construção Civil, Lagoa de Maimbá, Estrada e Vegetação (Figura 38).

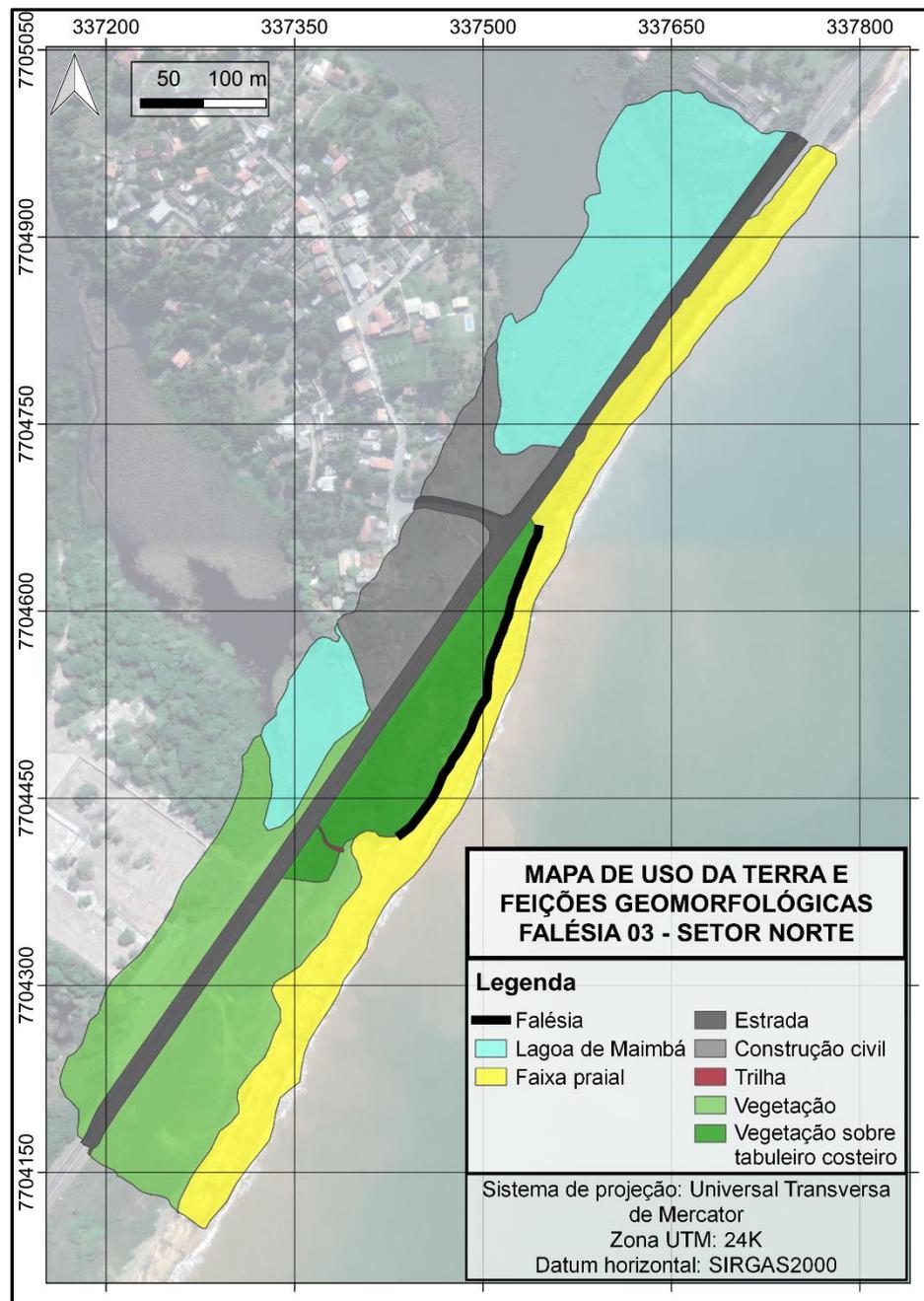


Figura 38. Mapa de uso da terra e feições geomorfológicas da F-03. Fonte: Autor.

As maiores áreas pertencem aos temas de Vegetação (33.807 m²) Lagoa de Maimbá (35.595 m²), Faixa praial (28.564 m²), Estrada (14.447 m²), Construção Civil (14.869 m²), Vegetação sobre Tabuleiro Costeiro (14.109 m²) e Trilha (61 m²). A falésia possui fronteiras com a estrada a oeste, a vegetação a sul e faixa praial a leste.

2.4 INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS

A análise do meio físico das falésias possibilitou a correlação lateral de fácies entre os 3 afloramentos analisados, de acordo com as características geológicas intrínsecas a cada fácies, como semelhantes composições e texturas. Na base de todas as falésias ocorre a fácies “A”, formada por porções caoliníticas com coloração esbranquiçada e lateríticas. A fácies “B” é marcada pela coloração rosada evidente em todas as falésias possui contato gradacional com a fácies “A”, nas falésias F-01 e F-03, e contato abrupto na F-02. A fácies “C” possui coloração ferruginosa bem-marcada e contatos abruptos bem delimitados nas falésias 01 e 03 entre as camadas “B” e “C”. Esta camada não aparece na falésia 02, devido a um evento pós deposicional, provavelmente pela interferência antrópica. A fácies “D” é o topo do perfil geológico e está presente em todas as falésias, com coloração amarelada/bege, é uma camada bem delimitada nas falésias 01 e 03, e gradual na falésia 02. É a camada superficial, portanto é a que sofre maior interferência da vegetação e outros usos da terra.

A morfologia analisada nas três falésias da área, pôde indicar uma tendência de inclinação das escarpas do setor sul para o setor norte. A F-01, correspondente ao setor sul é a de menor declividade entre todas da área de estudo, com média de inclinação entre 45°-60°. Seu formato convexo está relacionado a acumulação de sedimentos relacionados aos movimentos gravitacionais de massa do tipo rastejo e escorregamento das camadas superiores “C” e “D”, sobre as camadas “A” e “B”. Os movimentos gravitacionais de massa ocorrem em todas as falésias, e aparecem em maior quantidade na F-01 devido a sua mais espessa faixa de areia, evitando que as ondas retrabalhem os sedimentos erodidos da falésia. Ocorrem blocos de tamanhos significativos, evidenciando processo erosivo atuante.

Os movimentos gravitacionais de massa possuem correlações com a morfologia e o uso da terra. Na F-01, onde foi possível encontrar a maior quantidade de movimentos entre as três falésias da área de estudo, a falésia apresenta menores inclinações, e de acordo com Emery e Kuhn

(1982) esta falésia mostra através de seu perfil de curvatura que a erosão subaérea é maior que a erosão marinha, evidenciando a quantidade de movimentos e do não retrabalhamento de tais pelas ondas. Na F-02, apesar da falésia possui alto ângulo de declividade (60-80°), os movimentos não estão evidentes devido ao retrabalhamento dos blocos e outros matérias do deslizamento pelas ondas. A F-03 possui bastantes feições de movimentos gravitacionais de massa, apesar da erosão marinha ser maior que a subaérea. São exemplificados por depósitos de blocos lateríticos com dimensões de até 2x3x3 m³, que estão preservados no afloramento devido seu alto grau de resistência litológica.

O uso da terra tem uma boa resposta sobre as condições erosivas inerentes a cada uma das falésias e suas regiões adjacentes, como a rodovia ES-060. A F-01 possui boas condições de conservação da vegetação (Bush *et al.*, 1999), com uma pequena parte degradada, e com a estrada adjacente preservada, sem evidências de processos erosivos, podendo ser explicada na região sul de Maimbá, pela pouca ação das ondas e espessa faixa de areia (Albino *et al.*, 2006).

A F-02, apesar de ser o perfil de falésia mais baixo e do centro do tabuleiro costeiro que sustenta a falésia não tem vegetação, possuindo média estabilidade em relação aos processos erosivos, tendo em vista que ao seu norte há ocorrência de uma ruptura circular na rodovia, que está situada sobre a falésia. A F-03 apesar de ser totalmente vegetada na superfície, possui grandes evidências de erosão devido a curta faixa praial, e segundo Albino *et al.* (2006) é a região de Maimbá que mais é atingido pela ação das ondas, evidenciando pelo acúmulo de metais pesados na praia e pela destruição em massa na beira da rodovia ES-060.

De uma forma geral a litologia das falésias atua diretamente nos perfis morfológicos e processos erosivos da área de estudo, indicando maior susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa nas falésias de maior altura (Emery e Kuhn, 1982; Sunamura, 1992) como nos setores sul e norte. A largura da faixa praial interfere na intensidade das ondas sobre as falésias, onde quanto mais espessa, maior a área para espraiamento máximo das ondas, ocasionado maior proteção em relação

a erosão marinha. De acordo com Sunamura (1982) o papel da resistência litológica e os dados sobre ondas possuem igual importância no estudo evolutivo morfológico de costas compostas por falésias, sendo os principais geoindicadores da erosão costeira nestas regiões.

CAPÍTULO 3 – INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA DOS SOLOS NA MORFOLOGIA DAS FALÉSIAS COSTEIRAS

3.1.1 OBJETIVO GERAL

- Discutir a resistência geotécnica do material como fator determinante na forma e processos erosivos subaéreos das falésias

3.1.2 METAS

- Caracterizar a resistência dos materiais litológicos do perfil da falésia 01 a partir de dados primários de permeabilidade, densidade, limites de liquidez e plasticidade, umidade, granulometria, compressão simples, cisalhamento direto e Difratomia de Raio-x (DRX).
- Correlacionar os dados de resistência mecânica realizados nos ensaios de compressão simples e cisalhamento direto.
- Discutir as diferentes taxas de resistência do material das camadas ao longo do perfil da falésia 01, com os modelos de curvatura propostos por Emery e Kuhn (1982).

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA

3.2.1.1 RESISTÊNCIA DOS SOLOS

O termo “solos” utilizado a partir deste capítulo, refere-se ao material litológico das falésias citado anteriormente nesta dissertação, e possui conotação análoga, tendo em vista o baixo grau de consolidação, presença de matéria orgânica e bioturbações no material litológico das falésias. Os solos são classificados como uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, e formados por minerais, materiais orgânicos e outros constituintes (Embrapa, 2018). A resistência dos solos é o resultado da interação entre fatores físicos, químicos e mecânicos característicos de cada material. Esses fatores formam as propriedades do solo, que podem proporcionar maior ou menor resistência aos processos erosivos (Guerra e Botelho, 1996).

3.2.1.2 PROPIEDADES FÍSICAS

De acordo com Guerra e Botelho (1996), as propriedades físicas são bons indicadores da erodibilidade dos solos, destacando-se a densidade, permeabilidade, limites de liquidez e plasticidade, umidade, e teores de argila, areia e silte. As densidades aparente e real dos solos influenciam a erodibilidade de forma significativa, e afetam as demais propriedades como porosidade e permeabilidade. A densidade real é representada pelas partículas de solo seco e a densidade aparente controla a ação dos processos erosivos, tendo em vista por exemplo, que quanto maior a densidade, maior a dificuldade das águas se infiltrarem (Guerra e Botelho, 1996).

Ainda de acordo com os autores a permeabilidade está relacionada as conexões entre os espaços vazios dos grãos, e interfere na presença da quantidade de água dos solos. Para determinação dos valores de

permeabilidade podem ser utilizados teste *in situ* ou campo e laboratoriais (Figura39).



Figura 39. Corpo de prova colocado na base da cápsula triaxial. Fonte: Autor.

Os teores de argila, silte e areia também influenciam diretamente na erodibilidade dos solos. As argilas que são materiais coesos e as areias grossas representam os teores granulométricos mais resistentes, explicados respectivamente pelo alto teor coesivo e pelo maior peso, gerando mais resistência. As frações silte e areia fina não possuem muita coesão e tendem a mais erosíveis.

3.2.1.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

A resistência a compressão dos solos é um dos parâmetros utilizados para caracterizar um talude. Solos argilosos, especialmente aqueles que possuem alto teor de umidade e índice de vazios elevados possuem valores de compressibilidade elevados (Fernandes, 2006). A consistência dos solos pode ser mensurada através dos métodos de compressão simples e cisalhamento direto (Pinto, 2002).

A compressão simples, aplicada no presente estudo, é usada para determinar a consistência das argilas e consiste na ruptura por compressão de um corpo de prova de argila cilíndrico. O valor da carga de ruptura do corpo de prova, dividida pela área deste corpo é determinada a resistência a compressão simples das argilas. A classificação da consistência dos materiais argilosos é dividida em 6 fatores, sendo eles: muito mole, mole, média, rija, muito rija, dura (Pinto, 2002) (Figura 40).

Consistência	Resistência, em kPa
muito mole	< 25
mole	25 a 50
média	50 a 100
rija	100 a 200
muito rija	200 a 400
dura	> 400

Figura 40. Classificação da consistência das argilas. Fonte: Pinto, 2002.

De acordo com Fernandes (2006) a caracterização da resistência através do cisalhamento direto em laboratório prevê o estado das tensões do solo, do tipo normal e tangencial. Essas tensões possibilitam calcular a resistência ou coesão dos solos.

3.2.1.4 PROPRIEDADES QUÍMICAS

As propriedades químicas expressam as diferentes proporções de elementos presentes nos solos e são determinadas em laboratório, geralmente através da difratometria de raio-x, método crucial para a caracterização química dos solos (Neves, 1968; Albers, 2002). Ainda de acordo com o autor, no ciclo sedimentar os minerais de argila adaptam-se as variações químicas dos ambientes em que foram formados ou a que são transportados. A determinação de um grupo de argilas específicas pode ser crucial em estudos geológicos e pedológicos (Neves, 1968). A caolinita aparece em abundância na Fm Barreiras devido a vasta alteração de feldspatos depositados, sendo considerado um argilomineral com forte ligação química, perfazendo relação 1:1 entre folhas de tetraedros de SiO_4 e octaedros de $\text{Al}_2(\text{OH})_6$ (Santos, 1975).

Ainda de acordo com o autor, esta estabilidade morfológica cristalina da caolinita deve-se ao fato de sua característica eletricamente neutra, existindo pouca ou nenhuma substituição por cátions dentro da estrutura cristalina (Weiss e Range, 1966). Os difratogramas (Figura 41) são exemplos dos produtos gerados pelo ensaio e mostram picos que correspondem os valores dos minerais em ângstrons (Å) que são obtidos através da escala 2Q na base do difratogramas (Embrapa, 1997).

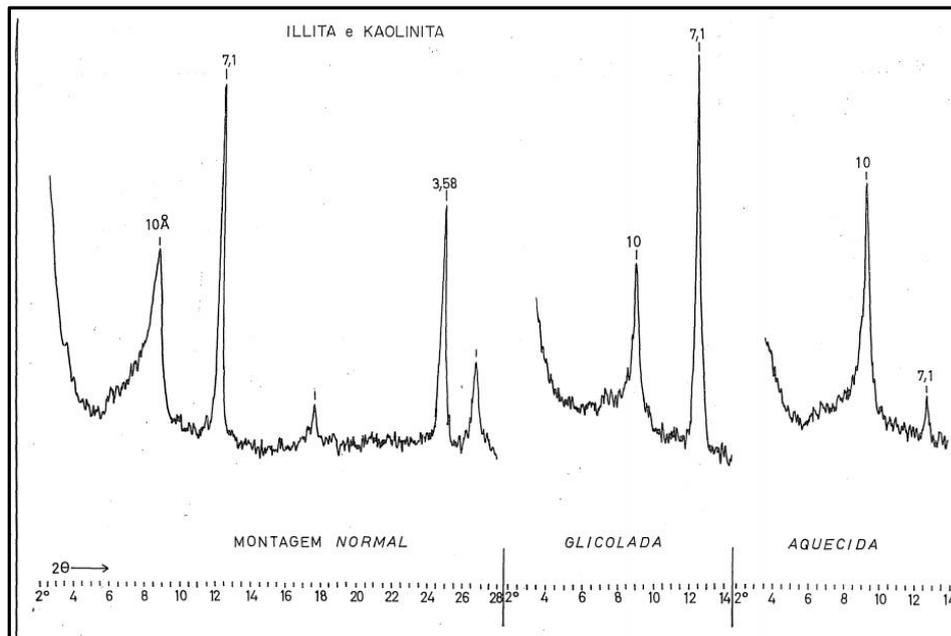


Figura 41. Difratoograma representando concentrações de Illita e Caulinita. Fonte: Neves, 1968.

3.2.2 TRABALHO DE LABORATÓRIO

Os ensaios para caracterização física, mecânica e química das fácies sedimentares das falésias foi realizado na F-01, por se tratar de uma falésia com perfil morfológico completo e acessibilidade para realização das amostragens.

3.2.2.1 PARÂMETROS FÍSICOS

Após a etapa de coleta de amostras, foi iniciado o tratamento, separando as amostras de acordo com as necessidades de cada teste realizado. O ensaio de granulometria foi realizado no Laboratório de Sedimentologia do Departamento Oceanografia e Ecologia, e a densidade, permeabilidade, limites de liquidez e plasticidade, e umidade foram realizados no Laboratórios de Geotecnia 1 e 2 do Departamento de Engenharia Civil, ambos localizados na UFES.

3.2.2.1.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA E MORFOSCÓPICA

Com as coletas de amostras finalizadas, iniciou-se a etapa com os procedimentos abaixo descritos, realizados para cada camada. Foram utilizados aproximadamente 100 gramas de material para cada amostra. O tratamento inicia-se com a análise granulométrica dos sedimentos, e para o dimensionamento dos grãos usa-se a escala de Wentworth (1922).

A separação entre os sedimentos grossos (areia e cascalho) e finos (silte e argila) foi feita por peneiramento via úmida, onde sobrepõe-se a um Becker duas peneiras de 63 μ m e com o sedimento úmido na superior, inicia-se uma lavagem. O sedimento grosso fica retido pelas peneiras e o fino encontra-se no Becker junto com a água da lavagem. O grosso segue para estufa a 40 graus para sua completa secagem, já o fino deve permanecer em repouso para sua completa decantação. A água foi retirada delicadamente com o auxílio de uma mangueira, onde uma parte ainda úmida seguiu para o granulômetro a laser, e outra para secagem e posterior identificação mineralógica. Após seco, o sedimento grosso pôde ser peneirado via seca, onde uma torre de peneiras com granulometrias em intervalo de 0,5 phi são montadas seguindo os intervalos de Wentworth (1922), e cerca de 40 gramas de amostra são colocadas no topo e por 15 minutos agitadas com o auxílio da torre de agitação. Os pesos para cada fração foram colocados em planilha e transformados para porcentagem.

A análise do material fino foi realizada com auxílio do aparelho *Malvern Mastersize 2000*, um difratômetro a laser cujo por definição “baseia-se no princípio de que o ângulo de difração é inversamente proporcional à dimensão da partícula” (Dias, 2004) uma pequena quantidade do sedimento fino foi analisada e suas proporções granulométricas são fornecidas em porcentagem.

Com as planilhas de granulometria confeccionadas, a classificação das amostras foi realizada em diagramas ternários triangulares, nos quais os vértices representam a totalidade da porcentagem referente as classes granulométricas, enquanto o lado oposto do vértice representa o contrário. Dentre os mais utilizados diagramas ternários tem-se Folk (1954) e

Shepard (1954), sendo o primeiro o método de classificação adotado no presente trabalho. Os vértices do diagrama para sedimentos grossos representam as classes de cascalho, areia e lama, o que ainda permite fazer ilações sobre condições hidrodinâmicas relacionadas ao transporte de maiores granulações, e os vértices da classificação de sedimentos finos são representados pelas classes de areia, silte e argila. O *software* utilizado para tais classificações foi o *GRADISTAT*.

Para as análises texturais foram utilizados a classificação de Folk e Ward (1957), utilizando-se da escala geométrica (μm). O grau de arredondamento em cada amostra escolhida foi analisado utilizando uma lupa binocular com aumento de até 100x. A metodologia adotada levou em conta a sugestão de Dias (2004), onde 100 grãos por fração de amostra analisada consideram-se suficiente para o proposto. O grau de arredondamento foi classificado a partir de Powers (1953), que propôs uma escala bidimensional a partir de fotografias, que de algum modo dão informações tridimensionais sobre este aspecto morfométrico. A classificação é subdividida em 6 classes, muito angular, angular, sub-angular, sub-arredondado, arredondado e bem arredondado (Figura 42).

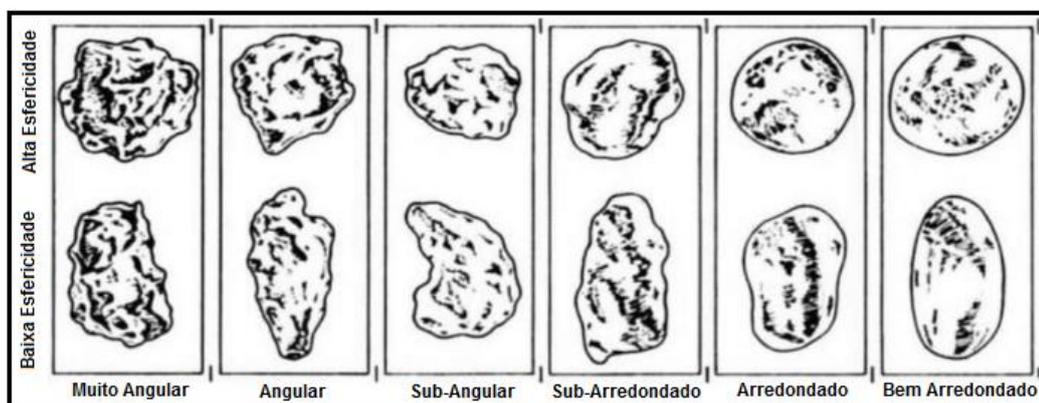


Figura 42. Classificação de arredondamento dos grãos. Fonte: Autor, Modificado de Powers (1953).

3.2.2.1.2 DENSIDADE

A preparação das amostras para o ensaio de densidade foi baseada na DNER-ME 041/94 e NBR-6457. Primeiramente secou-se a amostra a 105°C – 110°C, com posterior resfriamento e separação de pelo menos 10g para cada amostra. Para o início do ensaio, pesa-se o picnômetro vazio, limpo e seco (P1). Após, é colocado a amostra no picnômetro, pesando-se (P2) e depois completa-se com água destilada até o topo. Ferve-se por 15 minutos para expulsar o ar existente, sempre mexendo o frasco, e depois deixe esfriar. Colocara-se novamente água destilada até o topo em temperatura ambiente por 15 minutos, colocando a rolha perfurada em sua parte superior e anotando-se a temperatura (t), pesando o picnômetro (P3). Por fim, retira-se todo material de dentro do picnômetro e lava-se. É inserido então água destilada até o topo, colocando em banho de água por 15 minutos. Posteriormente coloca-se a rolha perfurada de modo que a água aflore a superfície, medindo a temperatura (t). Retira-se o picnômetro do banho, enxugando-o com pano limpo e seco e pesa-se a seguir (P4). A densidade real é expressa pela seguinte fórmula (DNER-ME 093/94):

$$D_t = (P2 - P1) / (P4 - P1) - (P3 - P2).$$

3.2.2.1.3 PERMEABILIDADE

Para a realização dos ensaios de permeabilidade foi feito um corpo de prova cilíndrico para cada amostra, com aproximadamente 5cm de diâmetro e 10cm de altura. A permeabilidade é definida como um coeficiente geométrico para expressar a transmissão de fluidos, considerada como uma função do meio poroso e independe das propriedades do fluido percolante (Freeze e Cherry, 1979). Comumente expressa-se em função da área, através da medida unitária de Darcy (1 darcy = 1 D = 9,87 × 10⁻⁹ cm²). Pode ser dividida em permeabilidade primária e secundária, dependendo se já passou por processos de alteração da matriz, fraturamento e/ou dissolução desde sua deposição

sedimentar. A permeabilidade das amostras foi obtida em testes laboratoriais com auxílio do permeômetro de parede flexível (Figura 43), através do ensaio de carga variável (NBR-14545).



Figura 43. Permeômetro de Parede Flexível, com a cápsula triaxial ao lado direito da foto. Fonte: Autor.

3.2.2.1.4 LIMITES DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE

O limite de liquidez (WL) determina a umidade de transição entre os estados líquido e plástico dos solos, sendo definido como a umidade abaixo da qual o solo se comporta como material plástico (NBR-6459) e o limite de plasticidade (W_p) é o valor de umidade da transição entre o estado plástico e semi-sólido do solo, identificado quando o teor de umidade deixa de ser plástico (NBR-7180). Para a realização dos ensaios, foi colocado o material peneirado em um recipiente, adiciona-se água destilada e foi feita a homogeneização por 15 minutos. Separou-se uma menor parte para o limite de plasticidade e uma maior quantidade de material para o limite de liquidez (NBR-6459, NBR-7180).

No ensaio W_L , uma certa quantidade de material passado na peneira #40 (ABNT) foi colocada no aparelho Casagrande, precisando de 13mm de fechamento do material no aparelho para que seja definido o número de golpes, sendo necessário ao menos 5 valores entre 15 e 45 golpes, então foi pesado o material retirado úmido e colocado na estufa a 60°C e, pesado seco posteriormente (NBR-6459) (Figura 44A). O W_p foi adquirido determinando-se o teor de umidade no qual um cilindro de 3mm de diâmetro começa a fissurar-se, pesando-se úmido, posteriormente colocando na estufa e pesando a massa seca (NBR-7180) (Figura 44B).

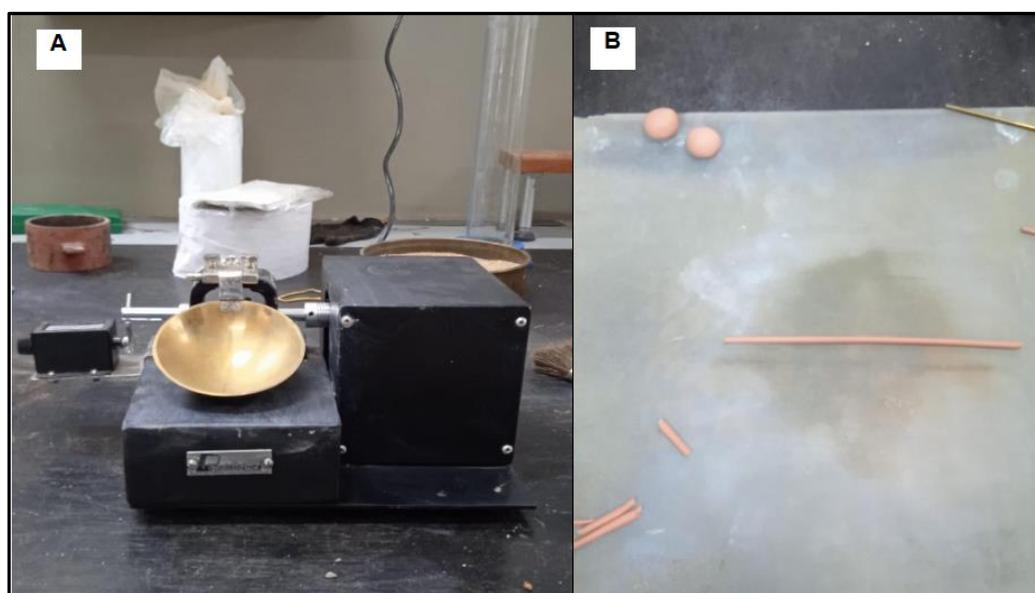


Figura 44. A) Aparelho Casagrande utilizado para o ensaio de limite de liquidez. B) Ensaio do limite de plasticidade. Fonte: Autor.

3.2.2.1.5 TEOR DE UMIDADE

Segundo Caputo (2017) o teor de umidade (h) é definido como a razão entre o peso da água contida em um certo volume de solo, e o peso da parte sólida contida nesse mesmo volume, expressa em porcentagem.

$$h\% = (P_a/P_s) \times 100$$

O material necessário para a confecção do ensaio e seu cálculo são simples, bastando determinar o peso da amostra no seu estado

natural e o peso após secagem completa (Figura 45) em uma estufa com temperaturas entre 105°C e 110°C (Caputo, 2017).



Figura 45. Amostras retiradas após secagem completa na estufa, para posterior pesagem da massa. Fonte: Autor

3.2.2.2 PARÂMETROS MECÂNICOS

3.2.2.2.1 COMPRESSÃO SIMPLES

O ensaio de compressão simples (UCT) é um método rápido para obtenção de valores de resistência ao cisalhamento não drenado de solos coesivos saturados (Lemos, 2014). Os ensaios podem ser aplicados em amostras deformadas ou indeformadas (Figura 46), determinando a sensibilidade do solo através da razão entre S_u e S_{ur} , entretanto, quando realizados em materiais fissurados, secos, quebradiços, ou em materiais que contenham quantidade significativa de silte e areia, os resultados

podem ter valores de resistência pouco confiáveis (ABNT NBR 12770; ASTM D2166; HEAD, 1992).



Figura 46. Modelagem dos corpos de prova indeformados.
Fonte: Autor.

Inicialmente foi colocado o corpo de prova dentro da prensa com dimensões de 5cm de diâmetro por 10cm de altura e aplicada uma força axial, a taxa constante, até que se atingisse sua ruptura ou uma determinada deformação vertical. Para calcular a deformação específica ϵ , seguiu a equação (NBR 12770):

$$\epsilon = (\Delta H/H) / 100.$$

Onde:

ϵ : Deformação axial específica, em %.

ΔH : Variação da altura do corpo de prova, obtida pelo indicador de deslocamento, em mm.

H: Altura inicial do corpo de prova, em mm.

Foi necessário calcular a área da seção transversal média (A), para uma dada carga aplicada:

$$A = (100A) / (100 - \epsilon).$$

Onde:

A: Área da seção transversal média, em m².

ϵ : Deformação axial específica sobre esse carregamento, em %.

Por fim, para calcular a tensão de compressão (q), temos:

$$q = P / A.$$

Onde:

P: Carga aplicada em kN.

3.2.2.2.2 CISALHAMENTO DIRETO

O ensaio de cisalhamento direto é o mais antigo método utilizado para determinar a resistência ao cisalhamento, sendo considerado um método bastante útil e simples de ser realizado quando se deseja medir valores de resistência residual (Pinto, 2002). No ensaio, o corpo de prova do solo foi colocado parcialmente numa caixa de cisalhamento (Figura 47), e posteriormente colocado na prensa para o início do ensaio (Figura 48). Em seguida, aplicou-se uma força vertical, N e uma força tangencial T, provocando um deslocamento (Pinto, 2002).

Segundo Pinto (2002) a razão entre as forças N e T e a área da seção transversal do corpo de prova indicam as tensões σ e π , onde a tensão π é representada em função do deslocamento no sentido do cisalhamento, obtendo-se o π_{max} , tensão de ruptura, e π_{res} , tensão

residual que o corpo de prova ainda sustenta após a ruptura. Ainda de acordo com o autor, a diminuição ou aumento de volume durante o cisalhamento é constatado pelo deslocamento vertical.

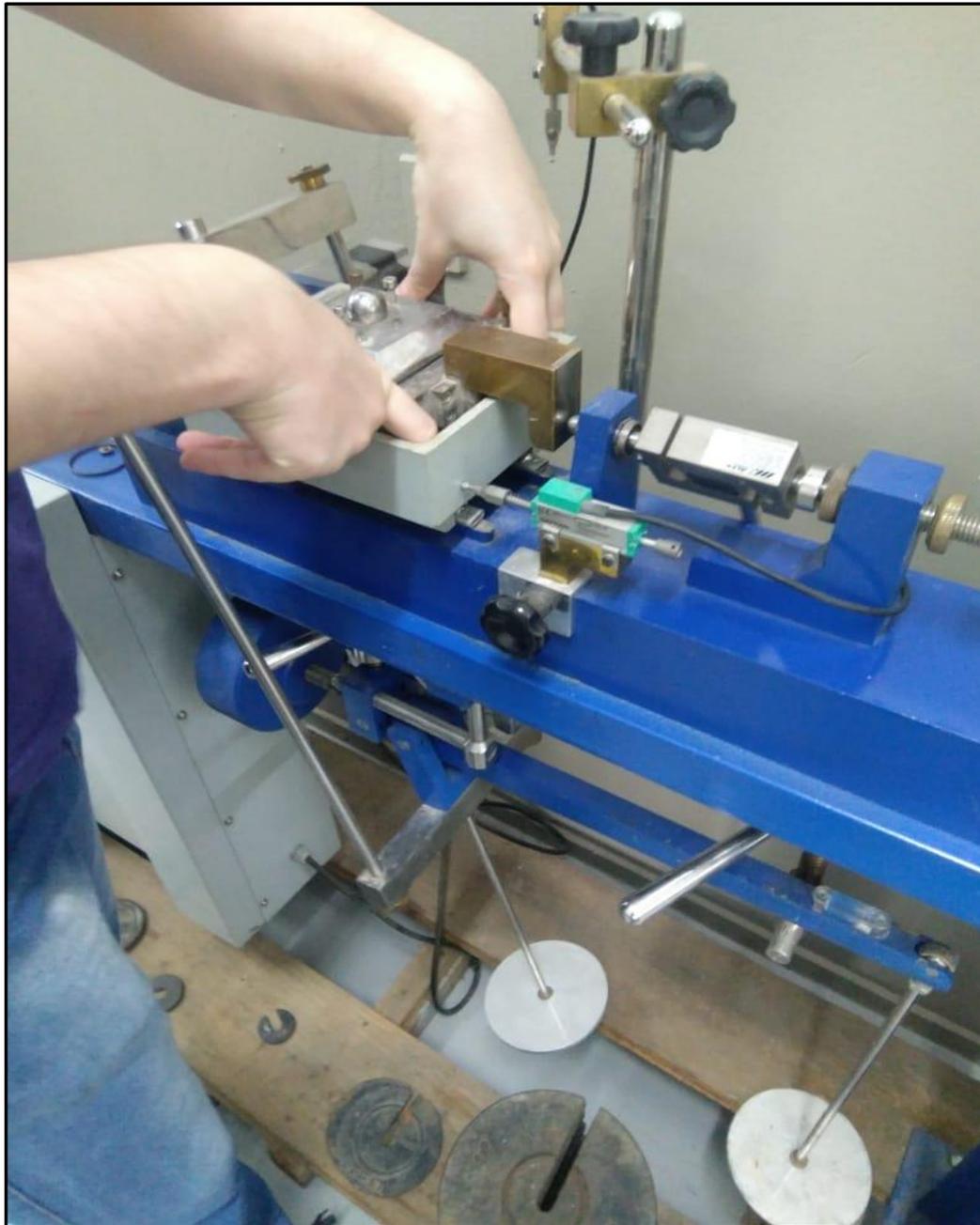


Figura 47. Ensaio de cisalhamento direto, com o corpo de prova dentro da caixa cisalhante. Fonte: Autor.

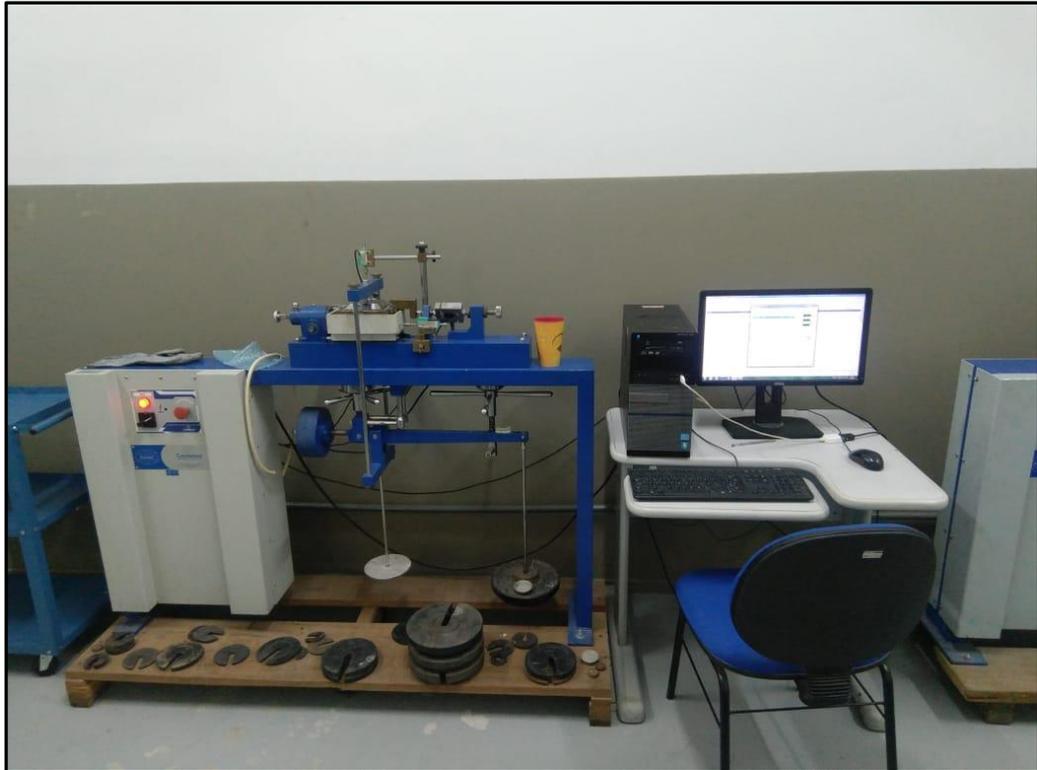


Figura 48. Prensa e computador para aferição dos ensaios de cisalhamento direto. Fonte: Autor.

3.2.2.3 PARÂMETROS QUÍMICOS

Para a amostragem orientada, inicialmente foi separada a fração argila das demais, através do peneiramento, e em seguida a argila sob forma pastosa foi colocada sobre uma lâmina de vidro, friccionando o material quantas vezes for necessário até formar uma fina película. Após, a amostra é levada para secar e colocada no difratômetro (Embrapa,1997). Este procedimento foi realizado no laboratório de Difractometria de Raio-x do Centro Tecnológico da UFES. A difração de raio-x foi o método laboratorial utilizado para corroborar as descrições composicionais das fácies apresentadas, indicando as fases minerais presentes em cada camada. Foi feita uma análise nas camadas das 3 diferentes falésias da área de estudo, totalizando 11 amostras. As fases minerais encontradas representam as frações lamosas das camadas estudadas, as quais perfazem a maior parte das composições, tendo em vista, que a maior parte das amostras são matriz-suportadas.

3.3 RESULTADOS

3.3.1 PARÂMETROS FÍSICOS

3.3.1.1 TEXTURA

A amostra que representa a camada “A” da F-01 apresenta distribuição granulométrica bimodal, com modas em lama e areia configurando uma amostra com baixo grau de seleção e classificada como silte arenosa. O diâmetro médio foi classificado em silte grosso e os grãos de quartzo apresentaram-se angulosos. A camada “A” da F-02 apresentou distribuição granulométrica polimodal, nas classes de lama, areia e cascalho e, muito pobre grau de seleção. A granulometria média foi classificada em silte muito grosso e os grãos de quartzo apresentaram-se angulosos. Por fim, a camada “A” da F-03 apresenta distribuição entre cascalho fina e lama, resultado pobre grau de seleção. O diâmetro médio foi classificado em silte grosso e os grãos apresentaram-se muito angulosos. Desta forma confirma-se a mesma textura da fácies “A” nas três falésias: pobre seleção, com presença de lama e areias e grãos angulosos.

A camada “B” da F-01 é apresentada distribuição polimodal representado com modas nas classes de lama, areia e pouco cascalho, classificada como silte arenosa, com muito pobre grau de seleção. O diâmetro médio foi classificado em silte muito grosso e os grãos apresentaram-se muito angulosos. A camada “B” da F-02 é representada por uma distribuição bimodal, com classes predominantes em lama e areia e, com pobre grau de seleção. O diâmetro médio foi classificado em silte muito Grosso. Os sedimentos da camada “B” da F-03 são muito pobremente selecionados, com classes entre lama, areia e um pouco de cascalho. O diâmetro médio foi classificado em silte grosso e os grãos de quartzo apresentaram-se muito angulosos. A textura da camada “B”, apresenta sedimentos pobremente selecionados, mas observa-se ser mais grossos e arenosos quando comparadas à textura da camada “A”.

A camada “C” da F-01 apresenta distribuição polimodal, com classes de lama, areia e aproximadamente 4% de cascalho. A distribuição apresentou-se muito pobremente selecionada, com classificação do diâmetro médio em silte grosso, com grãos muito angulosos. A textura da camada “C” da F-03 acompanhou a classificação da classe obtida na falésia-01, sendo caracterizada por silte grosso em distribuição pobremente selecionada.

Os sedimentos da camada “D” da F-01 apresentaram-se polimodal, com a presença de lama, areia e pouco cascalho. O diâmetro médio foi classificado em Silte Muito Grosso numa distribuição com pobre grau de seleção e grãos de quartzo muito angulosos. A camada “D” da F-02 representa o topo da falésia, e apresenta sedimentos com distribuição polimodal e com muito pobre grau de seleção. A distribuição média apresentou classificação em Silte Grosso com grãos muito angulosos. Os sedimentos da camada “D” da F-03 acompanham esta descrição.

De maneira geral as fácies apresentam uma correlação lateral, exemplificada pelas semelhanças composicionais encontradas no ensaio granulométrico. As fácies “A” possuem coloração esbranquiçada, marcada por grande presença de caolinita e baixo grau de seleção, as fácies “B” possuem coloração rosada e grãos pouco selecionados, as fácies “C” possuem típica coloração ferruginosa e as camadas superficiais “D” com coloração bege e muito pobre grau de seleção.

3.3.1.2 DENSIDADE E PERMEABILIDADE

Os valores de densidade das camadas litológicas foram realizados na F-01, sendo a falésia que possibilitou a amostragem com maior segurança, devido a sua mais espessa faixa praial e menor incisão de ondas em relação aos outros dois pontos da área de estudo. A densidade foi gerada a partir de ensaios de massa específica real, dados em g/cm³. Os maiores valores de densidade foram nas camadas “C” e “D”, respectivamente com valores de 2,707 g/cm³ e 2,678 g/cm³, seguido das camadas “B” e “A”, com valores de 2,640 g/cm³ e 2,628 g/cm³, apresentando uma tendência de diminuição da densidade do topo para

base da sequência sedimentar. Quando comparado uma camada à outra, a maior permeabilidade foi a “D”, com $k = 1,1310 \times 10^{-4}$ com uma tendência de diminuição da permeabilidade em direção a base da sequência sedimentar. A segunda maior permeabilidade é representada pela camada “C”, com $k = 1,3869 \times 10^{-5}$, seguido das camadas “B” e “A”, respectivamente com valores de $1,5593 \times 10^{-5}$ e $2,2055 \times 10^{-5}$ (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de densidade e do coeficiente de permeabilidade (k) obtidos na F-01.

CAMADA LITOLÓGICA	DENSIDADE (g/cm ³)	K média (cm/s)
A	2,628	$2,2055 \times 10^{-5}$
B	2,640	$1,5593 \times 10^{-5}$
C	2,707	$1,3869 \times 10^{-5}$
D	2,678	$1,1310 \times 10^{-4}$

3.3.1.3 UMIDADE, LIMITES DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE

As amostras recolhidas para a confecção dos ensaios foram extraídas do afloramento no início do verão de 2021, período de estiagem, com chuvas pouco volumosas e altas temperaturas na região costeira centro-sul do ES. O ensaio de limite de liquidez permitiu conhecer em porcentagens os valores de cada camada estuda, mostrando uma maior liquidez na camada “B”, com 88%, seguidos da camada “C”, com 70%, camada “D”, com 64% e camada “A” com 60%. O ensaio de plasticidade mostrou valores iguais nas camadas “A” e “D”, com o valor de 23%, representando as menores porcentagens de plasticidade. A camada “B” apresenta valor de 28% e a camada “C” apresenta valor de 30%, sendo considerada a maior plasticidade entre as camadas estudadas. A umidade decresceu da base para o topo, com valores de 12,58%, 5,45%, 2,08% e 1,25% respectivamente das camadas “A”, “B”, “C” e “D”. Vale ressaltar que a camada “A” sofre ação marinha direta, podendo haver influência neste resultado. (Tabela 2).

Tabela 2. Valores em porcentagens da umidade, limites de liquidez e plasticidade.

CAMADA	UMIDADE (w)	LL	LP
A	12,58 %	60%	23%
B	5,45 %	88%	28%
C	2,08 %	70%	30%
D	1,25 %	64%	23%

3.3.2 PARÂMETROS MECÂNICOS

3.3.2.1 COMPRESSÃO SIMPLES

Os testes de compressão simples indicaram que a camada “A” apresenta uma resistência máxima igual a 7,46 Kgf/cm², onde após esse valor, ocorre o rompimento do corpo de prova (figura 48). A camada “B” apresenta uma resistência máxima a compressão simples igual a 3,95 Kgf/cm², onde após esse valor, ocorre o rompimento do corpo de prova. A camada “C” apresenta uma resistência máxima a compressão simples igual a 4,11 Kgf/cm², onde após esse valor, ocorre o rompimento do corpo de prova. A seguir, na figura 50, é mostrado o gráfico de tensão x deformação da camada “C” no ensaio de compressão simples. A camada “D” apresenta uma resistência máxima a compressão simples igual a 2,06 Kgf/cm (Tabela 3). A seguir, na figura 49, é mostrado o gráfico de tensão x deformação da camada “D” no ensaio de compressão simples.

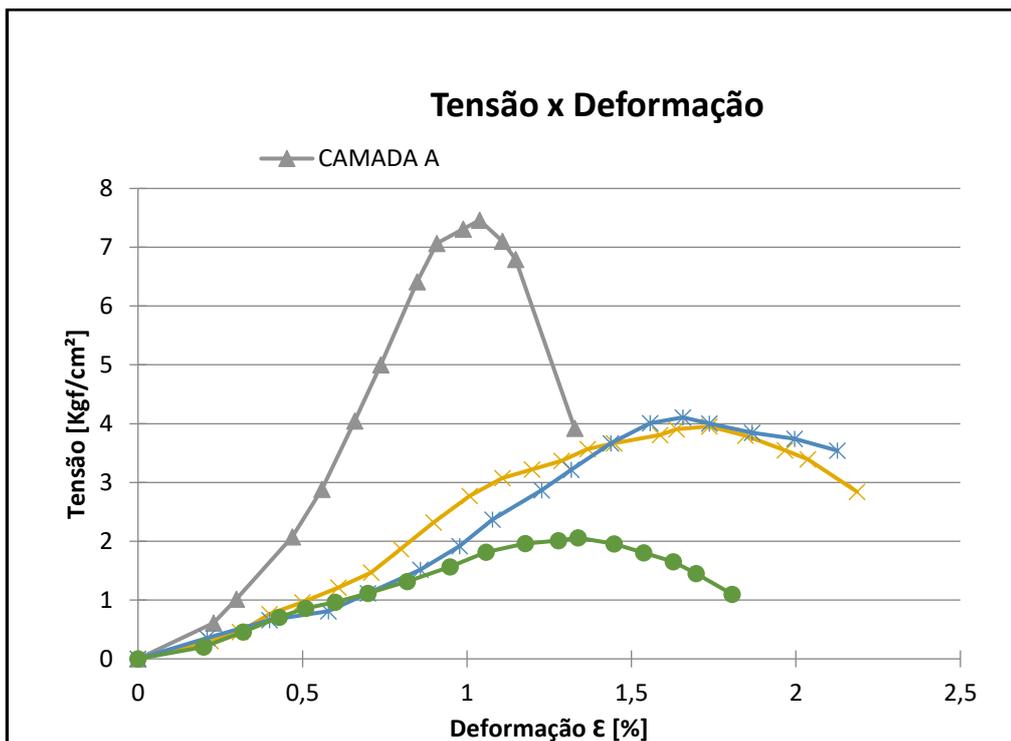


Figura 49. Gráfico de Tensão x Deformação das camadas "A", "B", "C" e "D".

Tabela 3. Valores de tensão máxima e média.

CAMADA	TENSÃO MÁXIMA	TENSÃO MÉDIA
A	7,46 Kgf/cm ²	4,41 Kgf/cm ²
B	3,95 Kgf/cm ²	2,47 Kgf/cm ²
C	4,11 Kgf/cm ²	2,46 Kgf/cm ²
D	2,06 Kgf/cm ²	1,28 Kgf/cm ²

Após análise dos gráficos de tensão x deformação das camadas "A", "B", "C" e "D", foi possível observar o maior pico na camada "A", com o valor de 7,46 Kgf/cm², seguindo uma tendência de diminuição dos valores em direção ao topo. A camada "B" possui valor de 3,95 Kgf/cm², a camada "C" possui resistência máxima a compressão simples igual a 4,11 Kgf/cm² e o topo da sequência, representada pela cada "D" tem o menor valor, sendo igual a 2,06 Kgf/cm². Isto representa que a camada "A" é considerada a de maior resistência comparada com as demais.

3.3.2.2 CISALHAMENTO DIRETO

Quanto ao cisalhamento direto observa-se que a camada "A" apresenta valores de Tensão Cisalhante de acordo com os cálculos feitos com a equação da envoltória de ruptura (Figura 50). São representados pelos valores de coesão $c' = 2,27$ KPa e atrito $\varphi' = 30^\circ$.

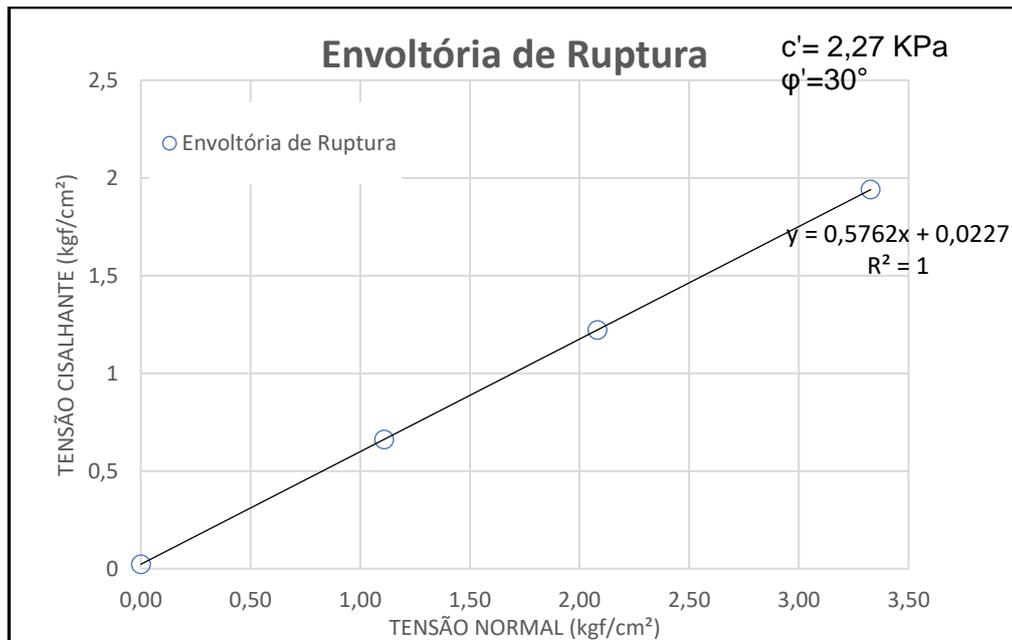


Figura 50. Gráfico da envoltória de ruptura da camada "A". Fonte: Autor.

A camada "B" apresenta valores de Tensão Cisalhante conforme o gráfico da envoltória de ruptura (Figura 51). São representados pelos valores de coesão $c' = 3,10$ KPa e atrito $\varphi' = 29,5^\circ$.

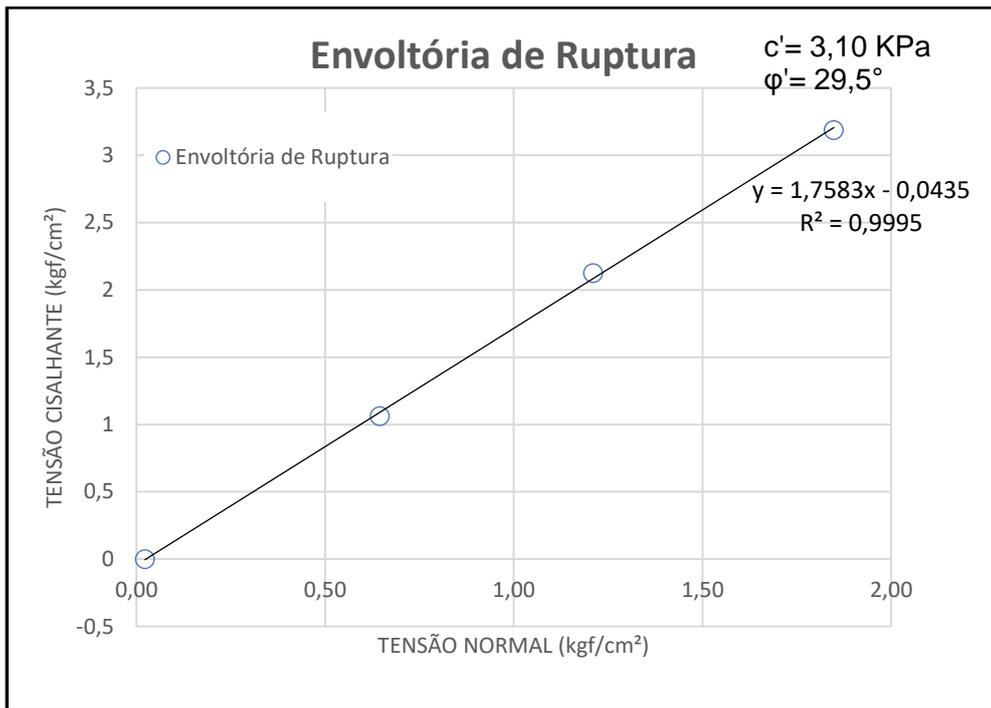


Figura 51. Gráfico da envoltória de ruptura da camada "B". Fonte: Autor.

A camada "C" apresenta valores de Tensão Cisalhante conforme o gráfico da envoltória de ruptura (Figura 52). São representados pelos valores de coesão $c' = 4,04 \text{ KPa}$ e atrito $\phi' = 29,2^\circ$.

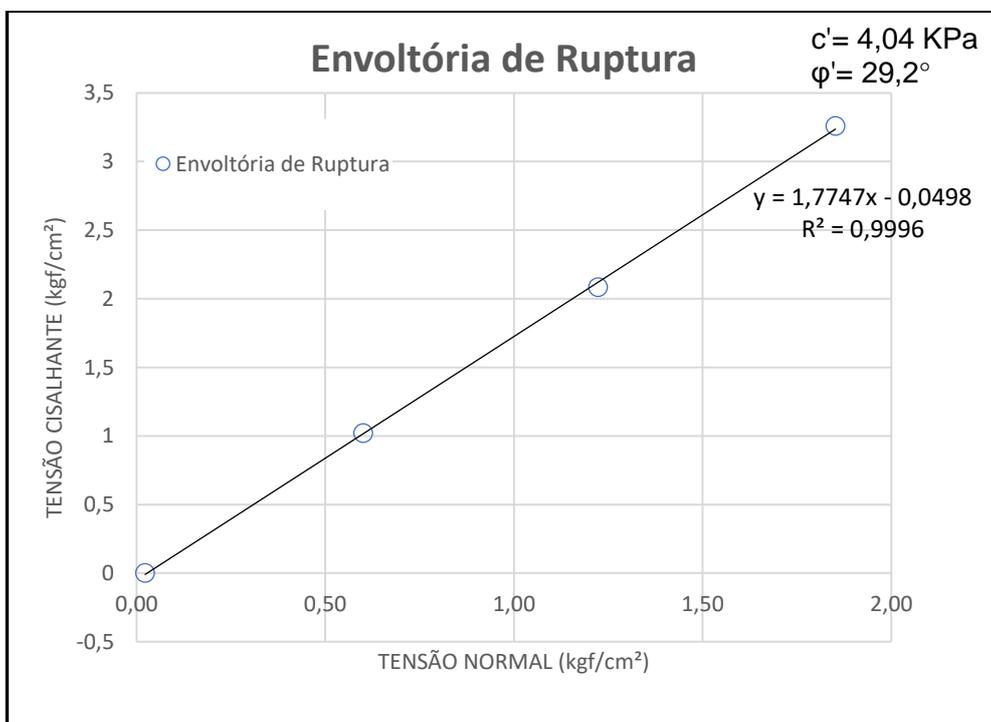


Figura 52. Gráfico da envoltória de ruptura da camada "C". Fonte: Autor

A camada "D" apresenta valores de Tensão Cisalhante de acordo com os cálculos feitos com a equação da envoltória de ruptura (Figura 53). São representados pelos valores de coesão $c' = 6,05$ KPa e atrito $\varphi' = 21,1^\circ$.

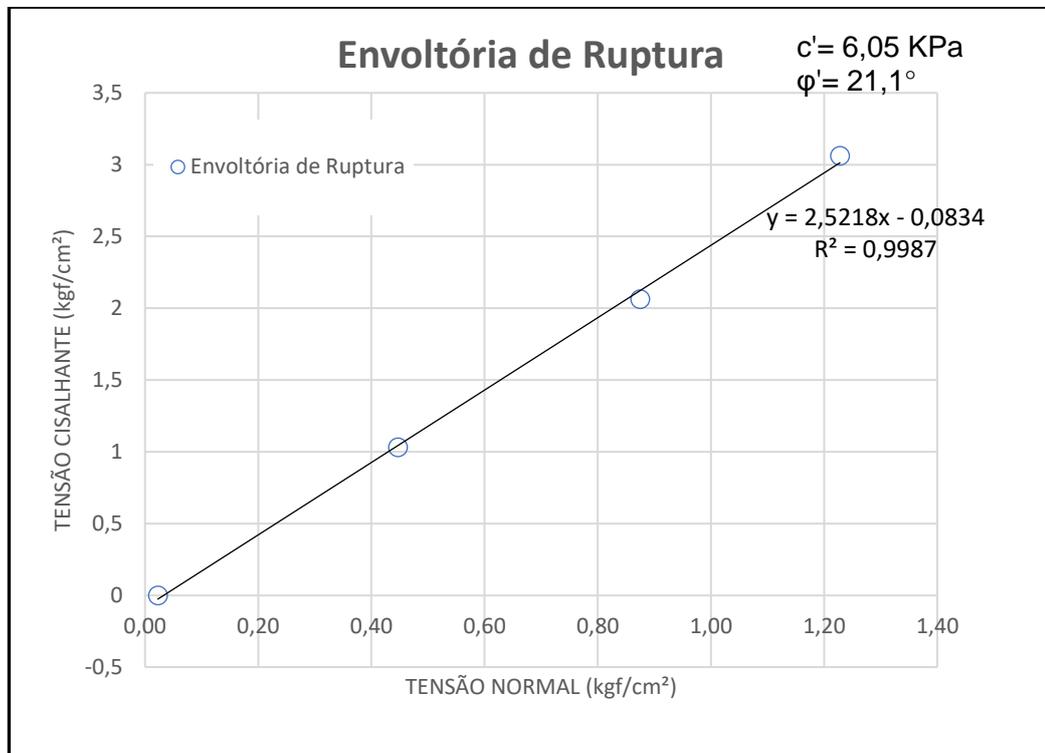


Figura 53. Gráfico da envoltória de ruptura da camada "D". Fonte: Autor

Após as análises dos gráficos da envoltória de ruptura, e de tensão de cisalhamento x deformação nas camadas "A", "B", "C" e "D" foi possível observar os maiores valores de resistência na base, apresentando uma tendência uniforme de diminuição de valores em direção ao topo da sequência sedimentar da falésia estudada. Os valores de tensão de cisalhamento são expressos principalmente pelo valor de ângulo de atrito e obtiveram maiores valores da base para o topo da sequência sedimentar. A camada "A" possui $\varphi' = 30^\circ$, seguidos das camadas "B" com $\varphi' = 29,5^\circ$, camada "C" com $\varphi' = 29,2^\circ$ e por fim camada "D" com $\varphi' = 21,1^\circ$.

3.3.3 PARÂMETRO QUÍMICO (DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X)

A camada “A” possui 7 fases minerais de acordo com o teste laboratorial. A principal fase mineral presente é a Caolinita (61,4%), seguidas de Óxido de Cromo (11,9%), Hematita (9,9%), Quartzo (4%), Bornita (7,9%), Halita (3%) e Cromo (2%) (Figura 54).

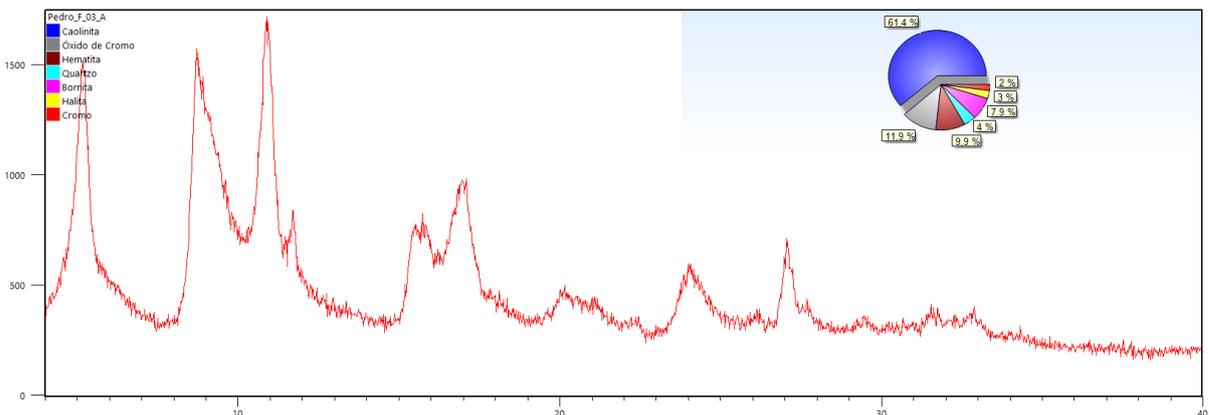


Figura 54. Difratoograma da F-03 A, com 7 fases minerais presentes. Fonte: Autor.

A camada “B” possui 6 fases minerais sendo a principal fase mineral Caolinita (36,4%), seguidas de Óxido de Cromo (20,02%), Hematita (19,2%), Quartzo (12,1%), Bornita (9,1%) e Halita (3%) (Figura 55).

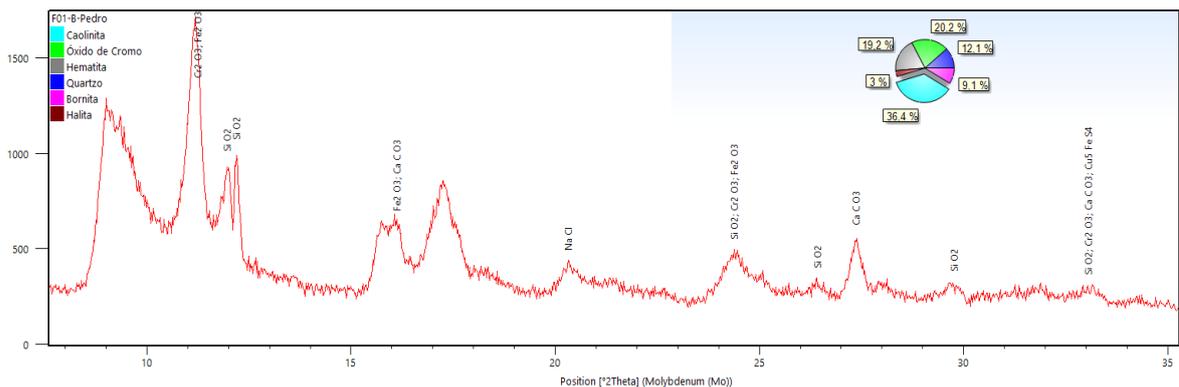


Figura 55. Difratoograma da F-01 B, com 6 fases minerais presentes. Fonte: Autor.

A camada “C” possui 9 fases minerais sendo a principal fase mineral a Caolinita (52%), seguidas de Óxido de Cromo (15%), Hematita (14%), Quartzo (5%), Fluorita (5%), Cromo (3%), Halita (3%), Sílica (2%) e Bornita (1%) (Figura 56).

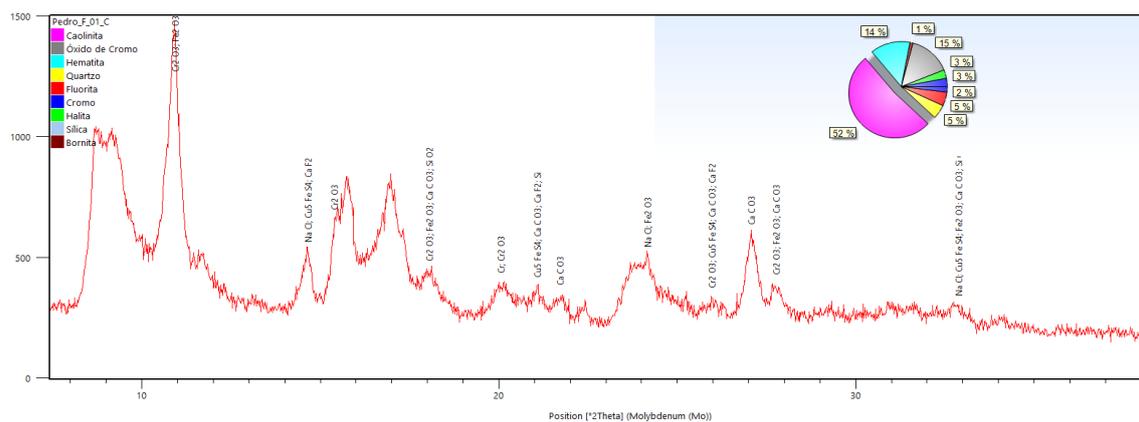


Figura 56. Difratoograma da F-01 C, com 9 fases minerais presentes. Fonte: Autor.

A camada “D” possui 9 fases minerais de acordo com o teste laboratorial. A principal fase mineral presente é a Caolinita (52%), seguidas de Óxido de Cromo (15%), Hematita (14%), Quartzo (5%), Fluorita (5%), Cromo (3%), Halita (3%), Sílica (2%) e Bornita (1%) (Figura 57).

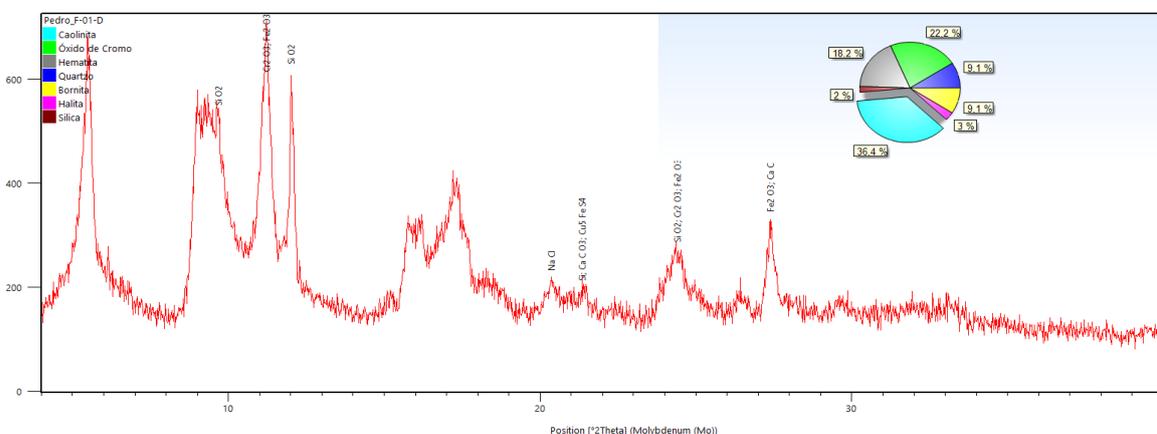


Figura 57. Difratoograma da F-01 D, com 7 fases minerais presentes. Fonte: Autor.

3.4 INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS

A seguir na tabela 4 e 5, são mostrados os resultados dos ensaios realizados nas camadas “A”, “B”, “C” e “D” da Falésia 01, considerando os ensaios físicos de densidade, granulometria, permeabilidade e limites de liquidez e plasticidade, e ensaios mecânicos de compressão simples e cisalhamento direto (Pinto, 2002).

Tabela 4. Integração dos dados de propriedades físicas de resistência das 4 camadas estudadas.

Camada/ Ensaio	Densidade (D) g/cm ³	Granulometria	Permeabilidade (K) cm/s	Liquidez/ Plast.
A	2,628	Silte Arenoso	2,2055 X 10 ⁻⁵	LL- 60% LP- 23%
B	2,640	Silte Arenoso	1,5593 X 10 ⁻⁵	LL- 88% LP- 28%
C	2,707	Silte Arenoso	1,3869 X 10 ⁻⁵	LL- 70% LP- 30%
D	2,678	Silte Arenoso	1,1310 X 10 ⁻⁴	LL- 64% LP- 23%

Todas as fácies estudadas pertencem a classe granulométrica silte arenoso, mostrando a homogeneidade textural dos sedimentos das camadas. Os valores de umidades foram estabelecidos em condições naturais do afloramento, apresentando aumento no teor de umidade do topo em direção a base, devido ao tempo seco e a maior interação das camadas basais com o mar (Tabela 5).

Tabela 5. Integração dos dados de umidade, compressão simples e cisalhamento direto nas 4 camadas escolhidas.

Camada/ Ensaio	Umidade (%)	Compressão Simples (Su UCT) Kgf/cm ²	Cisalhamento Direto (Su)
A	12,58 %	7,46	c' = 2,27 KPa φ'=30°
B	5,45 %	4,12	c'= 3,10 KPa φ'= 29,5
C	2,08 %	4,29	c'= 4,04 KPa φ'= 29,2°
D	1,25 %	2,15	c'= 6,05 KPa φ'= 21,1°

Após a integração dos dados dos ensaios, foi possível observar algumas correlações entre as camadas. A densidade mostrou-se inversamente proporcional aos dados de resistência ao cisalhamento direto e compressão simples, e aos resultados de umidade. Enquanto a densidade aumenta da base em direção ao topo, os valores de resistência diminuem da base para o topo. Os valores do coeficiente de permeabilidade (k) foram inversamente proporcionais aos dados de resistência mecânica, apresentando tendência de aumento de permeabilidade em direção ao topo, camada "D".

Após as análises, pôde-se concluir que a camada basal "A", da sequência sedimentar estudada, é a mais resistente e com menor permeabilidade e densidade. A camada sobrejacente, "B" possui a segunda maior resistência da sequência, e também a segunda menor permeabilidade e densidade. Esta camada é considerada a de maior limite de liquidez e o segundo maior de plasticidade. A camada "C" apresenta alta densidade e plasticidade, e baixos valores de resistência mecânica. Por fim, a camada "D", representa o topo da sequência, apresentando a mais alta permeabilidade e mais baixos valores de resistência.

CAPÍTULO 4 –DISCUSSÃO

4.1. O PAPEL DA RESISTÊNCIA LITOLÓGICA NA CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DAS FALÉSIAS COSTEIRAS

O estudo das fácies ou camadas sedimentares das falésias costeiras é um fator preponderante na determinação evolutiva morfológica das regiões costeiras com este tipo de formação (Sunamura, 1992). De acordo com Emery e Kuhn (1982), a litologia está associada ao perfil morfológico das falésias, imprimindo a relação entre a erosão subaérea e marinha. Segundo Davidson-Arnott (2010) o tipo litológico das falésias, assim como a informações sobre declividade, presença de vegetação no tabuleiro costeiro adjacente e estruturas civis no entorno são estudos determinantes no planejamento de segurança e estabilidade geotécnica.

A base de todas as falésias é formada essencialmente por caulinita na fração lamosa, possui coloração esbranquiçada, sendo considerada a fácies mais resistente. O maior teor de caulinita desta fácies comprovada pelo ensaio de DRX pode ser considerada um fator dominante na morfologia de falésias costeiras na área de estudo, formando as bases resistentes das falésias, como por exemplo na falésia central (Figura 58). Com arranjo cristalino formado pelo empilhamento regular de camadas 1:1, este argilomineral possui alta estabilidade, com a relação de uma folha de tetraedro de silício para uma folha de octaedro de alumínio (Santos, 1975). Sua fácies caulinizada é caracterizada por sua estabilidade mineralógica e por ser muito resistente aos diferentes tipos de intemperismos (EMBRAPA, 1978). Os maiores valores de compressão simples e cisalhamento direto, assim como o menor valor de permeabilidade corrobora esta fácies como de maior resistência, comparada as camadas subjacentes.

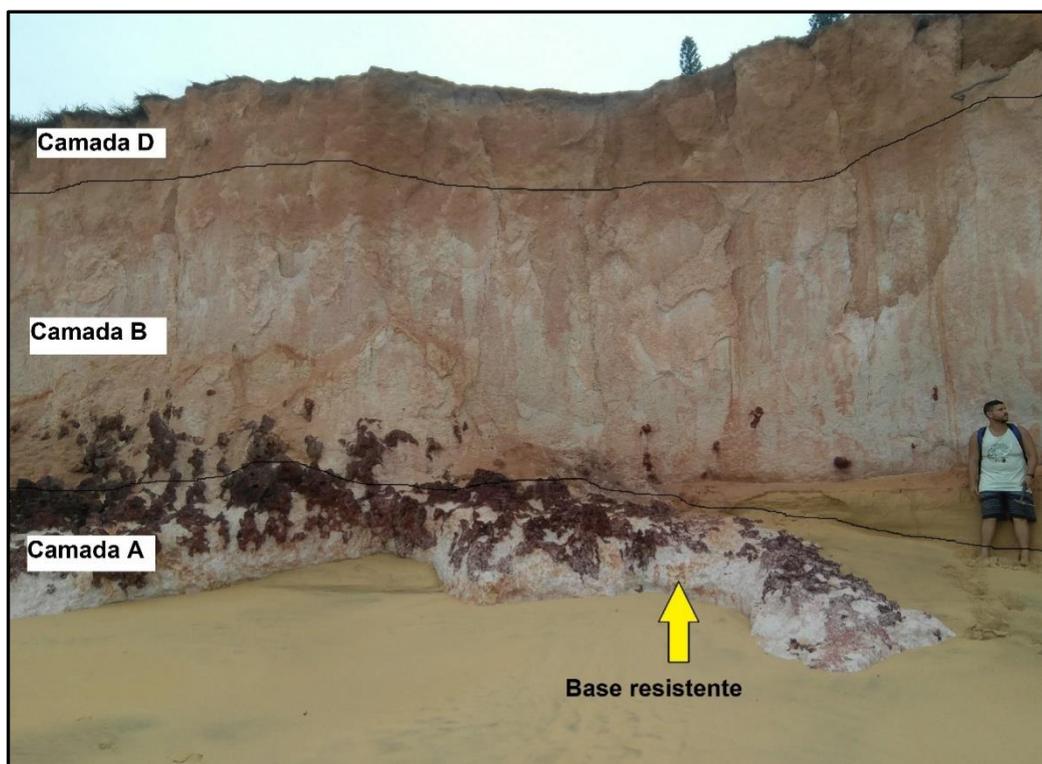


Figura 58. Base caulinizada resistente. Fonte: Autor.

A fácies sobrejacente a camada basal de coloração rosada, sofre influência direta do ataque de ondas e de movimentos gravitacionais, com as duas vias de erosão costeira agindo concomitantemente (Albino *et. al* 2016). Esta fácies representa o início da mudança morfológica dos perfis estudados, sendo a transição entre a camada basal mais resistente, e as camadas superficiais “C” e “D” sobrejacentes menos resistentes. Possui valores intermediários de resistência a compressão simples, cisalhamento direto e permeabilidade. A fácies ferruginosa tem coloração tipicamente avermelhada/ferruginosa, e é caracterizada por possuir menores espessuras e por não aparecer na falésia central. Esta fácies é delimitada em sua base e topo por um fluxo de paleocorrente, com seixos imbricados na direção NE-SW. Assim como a fácies “B” possui valores intermediários de resistência a compressão simples, cisalhamento direto e permeabilidade.

As fácies topo da sequência sedimentar estão no mesmo nível morfológico da fácies “C”. Possui coloração amarela/bege e até 3 metros de espessura, com baixo grau de selecionamento e muitas evidências de

movimentos gravitacionais de massa. É a fácies de menor resistência litológica, evidenciado pelos baixos valores nos ensaios de compressão simples e cisalhamento direto, e alta porosidade em relação as camadas inferiores. A baixa resistência pode ser explicada por esta fácies ser a superficial, sofrendo maior desagregação dos sedimentos. A figura a seguir mostra os diferentes níveis morfológicos do perfil completo de uma falésia da área de estudo, com a camada “A” basal mais resistente, formando uma saliência no perfil, camada “B” servindo de transição do perfil morfológico, e as camadas “C” e “D” alinhadas a 90° (Figura 59).

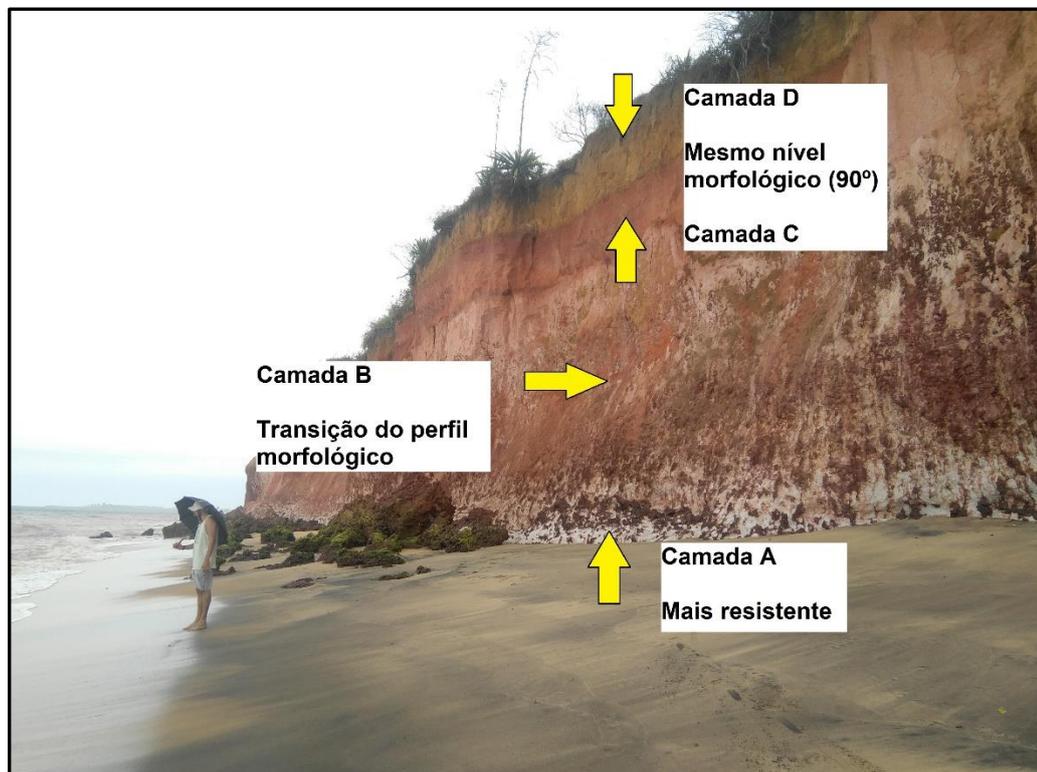


Figura 59.camada “A” basal mais resistente, formando uma saliência no perfil, camada “B” servindo de transição do perfil morfológico, e as camadas “C” e “D” alinhadas a 90°.

Para os autores Sunamura (1982,1992), Kuhn e Emery (1982) e Davidson-Arnott (2010) o estudo da litologia, incluindo direção, espessura e inclinação das fácies sedimentares é de grande importância no entendimento da evolução morfológica das falésias costeiras, reproduzindo características e descrições inerentes a cada material sedimentar.

De uma forma geral a presente dissertação permitiu correlacionar as faciologias com os processos de encosta, contribuindo diretamente para o estudo morfológico de costas formadas por falésias (Sunamura, 1992). As litologias com maiores teores de caolinita mostraram ter menor vulnerabilidade erosiva quando comparada com as camadas subjacentes (EMBRAPA, 1978). O topo de todas as falésias mostrou ter menor resistência litológica, estando associada aos variados movimentos de massa (Augusto Filho, 1992).

4..2 INFLUÊNCIA DOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E DO USO DA TERRA NA EROSÃO COSTEIRA DA PRAIA DE MAIMBÁ

O estudo dos movimentos de massa e do uso da terra no entorno das falésias costeiras é primordial no gerenciamento costeiro nos dias atuais, tendo em vista a grande expansão populacional sem as medidas apropriadas de ocupação e ordenamento de território, sendo estes fatores preponderantes no impulsionamento de construções civis em áreas impróprias a urbanização (Brito, 2014), como as encostas íngremes das falésias costeiras em Maimbá-ES (Albino *et al.*, 2016). Há uma variedade de materiais e processos envolvidos nos movimentos de massa que resultando em diversos tipos de feições (Tominaga, 2012). Os principais tipos de processos encontrados são rastejo, escorregamento, quedas e corridas, os quais são classificados através de três principais parâmetros, dinâmica, geometria e material (Augusto Filho, 1992).

A falésia no setor sul da área de estudo possui maior evidência de movimentos gravitacionais de massa, devido a sua maior faixa praial, que possibilita a preservação dos blocos e deslizamentos. Ocorrem feições erosivas como as superfícies de erosão, ravinas e duas voçorocas aceleradas por processos dos tipos rastejo, escorregamento e principalmente queda de blocos (Augusto Filho, 1992; Tominaga, 2012). As condições adequadas de uso da terra pertencem a esta região da área de estudo, com faixa praial e a estrada com maiores espessuras, vegetação sobre tabuleiro costeiro de maneira consistente e uso adequado de trilhas (Figura 60).



Figura 60. Falésia no setor sul, com extensa faixa de areia e presença de blocos preservados.

A falésia central possui pouca evidência de movimentos gravitacionais de massa do tipo queda de blocos, seja pelo pequeno tamanho da falésia ou pelo alto retrabalhamento das ondas no sopé desta falésia. Apesar disso, a estrada ES-060 adjacente é de espessura mínima para uma rodovia, não havendo acostamento, mostrando evidências de rupturas e queda de blocos associados a porções com menores faixas praias, permitindo pouco ou nenhum espraiamento máximo das ondas e ocasionando forte erosão costeira (Eguchi, 2018). Além disso, esta falésia não apresenta cobertura de vegetação superficial no tabuleiro costeiro adjacente, sofrendo ações erosivas superficiais com maior intensidade (Bush *et al.* 1999) (Figura 61 A).

A falésia no setor norte é a que possui maiores riscos geológicos (Albino *et al.* 2006), apresentando grande quantidade de movimentos gravitacionais de massa devido sua altura, apesar de sua faixa de praias ser considerada pequena. A estrada adjacente possui muitas evidências de destruição, com estruturas de rupturas planares e circulares (Modolo *et al.*, 2003; Albino *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2019). (Figura 61 B).

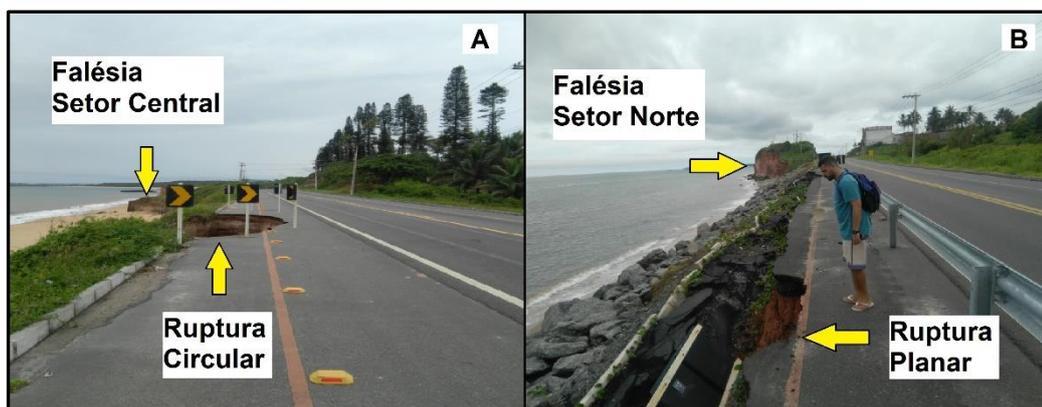


Figura 61. Ruptura circular próximo a falésia central e ruptura planar no setor norte. Fonte: Autor.

O estudo desta dissertação possibilitou a correlação entre os movimentos gravitacionais de massa descritos por Augusto Filho (1992) e Tominaga (2012), com diferentes usos da terra (Bush *et al.*, 1999), mostrando principalmente que estradas construídas em cima de falésias geram altos riscos geológicos quando não há espaço de acomodação para o espraiamento máximo da onda, geralmente em trechos da praia com pequena ou nenhuma faixa de areia (Eguchi e Albino, 2018).

4.3 CORRELAÇÃO ENTRE MORFOLOGIA DAS FALÉSIAS E EROSÃO COSTEIRA

As linhas de costa formadas por falésias estão em frequente erosão e são bastantes vulneráveis em locais habitados (Walkden and Hall, 2005), tornando-se um problema no recuo da linha de costa ao redor do mundo (Lee, 2008). Na costa brasileira as falésias distribuem-se da região sudeste ao norte, ocorrendo sob a forma de falésias ativas ou inativas, e associadas a terraços de abrasão marinho, representadas pela Fm Barreiras (Albino *et al.*, 2006).

A morfologia das falésias costeiras possui relação direta com a erosão costeira, imprimindo a relação erosiva entre a atuação das ondas nas falésias e o tipo de material litológico (Emery e Kuhn, 1982; Sunamura, 1992). Na praia de Maimbá-ES as falésias estudadas encontram-se sob a forma ativa (Albino *et al.* 2006), sofrendo erosão

marinha, estudado por Eguchi (2018) e Eguchi e Albino (2018) e erosão subaérea apresentada nesta dissertação.

O setor sul da área de estudo apresenta o perfil morfológico côncavo, com declividades que variam entre 45° e 70°, classificadas como “cliff” (Davidson-Arnott, 2010). De acordo com Emery e Kuhn (1982) o perfil morfológico desta falésia mostra uma erosão subaérea maior que a erosão marinha, definindo a região como de maior estabilidade evolutiva do sistema praia-falésia (Figura 62).

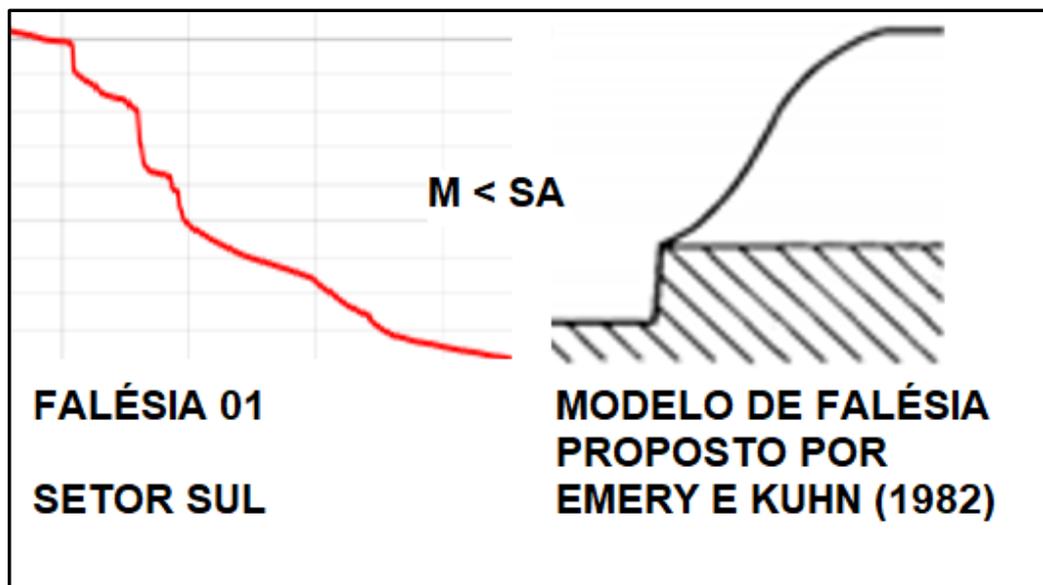


Figura 62. Correlação entre os modelos morfológicos da falésia do setor sul da área de estudo com Emery e Kuhn (1982). Fonte: Autor.

A falésia que representa o setor central possui o menor perfil morfológico da área de estudo, com declividade entre 45° e 90°, perfil variando entre os formatos côncavo, retilíneo e convexo indicando erosão subaérea igual a marinha, e faixa de areia com espessura de 15m, havendo um risco à erosão marinha superior a erosão subaérea (Sunamura, 1992; Emery e Kuhn (1982) (Figura 63).

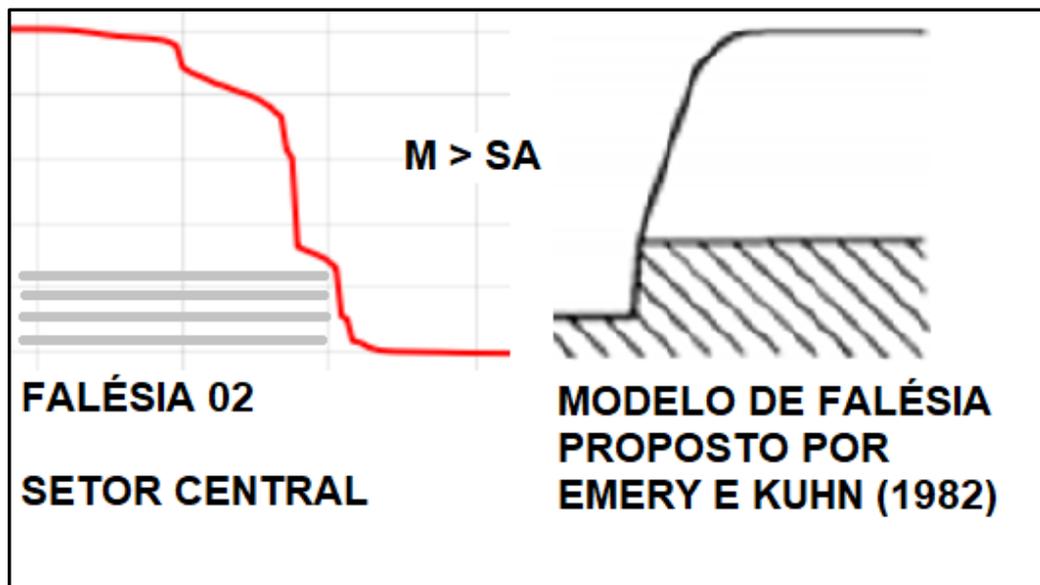


Figura 63. Correlação entre os modelos morfológicos da falésia do setor central da área de estudo com Emery e Kuhn (1982). Fonte: Autor.

O setor norte possui maior risco à erosão costeira, com a falésia de maior altura, maior declividade, variando entre 60° e 90°, perfil retilíneo e convexo indicando erosão marinha muito maior que a subaérea (Emery e Kuhn, 1982), grande quantidade de movimentos gravitacionais de massa (Augusto Filho, 1992), estrada adjacente com evidências de rupturas planares e circulares (Tominaga, 2012), e faixa de areia de pequena espessura, proporcionando o ataque direto das ondas na falésia (Albino *et al.* 2016; Eguchi, 2018) (Figura 64).

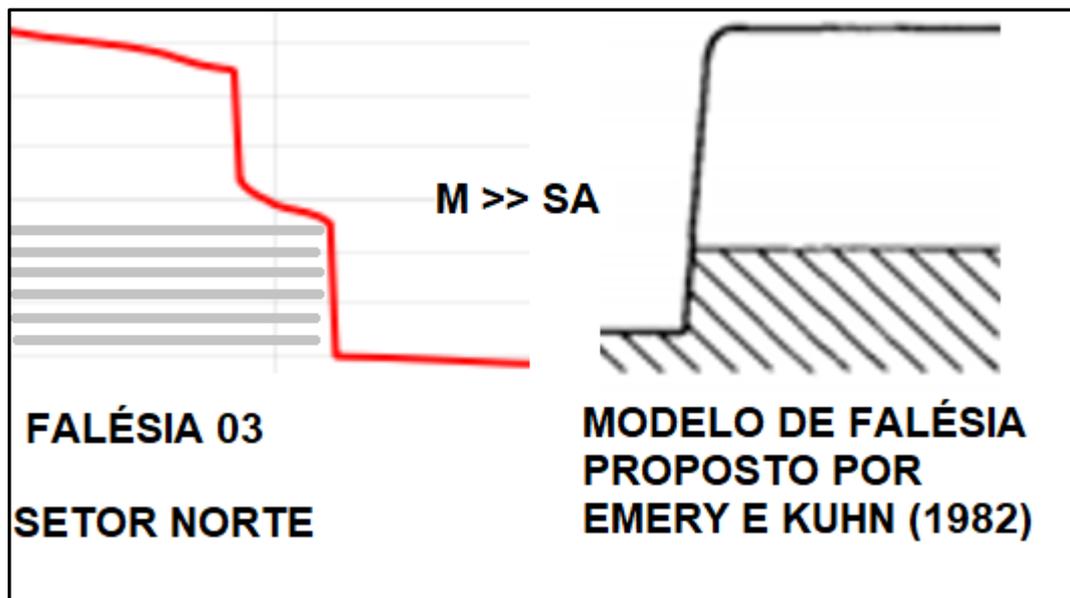


Figura 64. Correlação entre os modelos morfológicos da falésia do setor norte da área de estudo com Emery e Kuhn (1982). Fonte: Autor.

O perfil morfológico de falésias costeiras proposto por Kuhn e Emery (1982) e os modelos de relação entre erosão subaérea e marinha de Sunamura (1982; 1992; 2015) mostraram ser válidos para a presente dissertação, possibilitando uma análise das regiões mais vulneráveis a erosão costeira na área de estudo. O estudo permitiu relacionar características do material litológico das falésias com sua forma, processos erosivos e usos (Sunamura, 1992). A fácies basal enriquecida em caolinita mostrou comportamento mais resistente, formando uma saliência no perfil morfológico das falésias (Emery e Kuhn, 1982). Os topos das falésias mostraram ter menor resistência, associados pelo maior espaço entre grãos, devido a maior permeabilidade.

De uma forma geral a dissertação buscou resgatar autores como Albino, Muehe, Eguchi, Sunamura, Emery e Kuhn entre outros para o entendimento evolutivo morfológico das falésias costeiras em Maimbá-ES. O estudo evidenciou a relação da resistência litológica na erosão costeira em praias dominadas por ondas e formadas por falésias sedimentares, sendo agravado por construções civis inadequadas ao seu entorno.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO E SUGESTÕES

A presente dissertação buscou compreender a interação entre a forma dos perfis das falésias costeiras, as diferentes fácies litológicas, o uso da terra e a presença de movimentos gravitacionais de massa em seu entorno. O estudo da resistência do material litológico foi considerado um fator determinante para identificação da forma e da morfodinâmica dos processos erosivos subaéreos e marinhos das falésias costeiras, permitindo estabelecer a relação dos processos erosivos atuantes em praias dominadas por ondas e perfis com diferentes resistências litológicas.

Foi possível discutir as diferentes taxas de resistência do material das camadas ao longo do perfil da falésia costeira, indicando a resistência litológica como importante fator nos estudos morfológicos em costas formadas por falésias. A análise feita nesta dissertação possibilitou compreender a interação entre a forma dos perfis das falésias costeiras em Maimbá-ES através do levantamento de campo, utilização de imagens de alta resolução de VANT e ensaios laboratoriais físicos, mecânicos e químico de fácies representativas das falésias permitindo caracterizar o ciclo morfodinâmico das falésias costeiras.

Aconselham-se pesquisas na área de gerenciamento costeiro em âmbito multidisciplinar, abrangendo ramos da biologia para entendimento da fauna e flora, engenharia civil focada em contenção de taludes, testes asfálticos e drenagens, arquitetura na mobilidade urbana e turismo, complementando informações sobre a região descrita nesta dissertação, e sobre a morfodinâmica da praia, regime de ondas e recuo da linha de costa que foram estudados anteriormente. Sugere-se a implementação de placas informativas sobre o risco geológico em todos os setores da área de estudo, avisando os banhistas sobre os perigos da movimentação gravitacional de massa, principalmente nas falésias sul e norte da área de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, AZIZ NACIB. **Formas do relevo: trabalhos práticos**. São Paulo: Edart, 1975.

ALBERS, A. P. F. et al. **Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X**. *Cerâmica*, v. 48, n. 305, p. 34-37, 2002.

ALBINO, J., GIRARDI, G., DO NASCIMENTO, K.A. Espírito Santo IN MUEHE, D. Org. **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Ministério do Meio Ambiente. 2006.

ALBINO, J., JIMÉNEZ, J. A., OLIVEIRA, T. C. A. **Planform and mobility in the Meaípe-Maimbá embayed beach on the South East of Brazil**. *Geomorphology*. p.110-112. 2016.

ALMEIDA FILHO, G. S. **Uso das terminologias de processos erosivos lineares dos tipos ravina e voçoroca**. *Revista Geonorte*, v. 5, n. 23, p. 693-699, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D2166-06: Standard test method for unconfined compressive strenght of cohesive soils**, 2007.

ARAI, M. **A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras**. *Geologia USP Ser. Cient.* São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1-6, 2006b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459: Determinação do limite de plasticidade de solos**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180: Determinação do limite de liquidez de solos**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de solo Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12770: Solo coesivo Determinação da resistência à compressão não confinada.** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14545: Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável.** Rio de Janeiro. Pini, 2000.

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica.** In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUCRJ, 1992, v.2, p.721-733, 1992.

BRITO, M. MADRUGA DE. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento de suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2014.

BUSH, D. M., NEAL, W. J., YOUNG, R. S., & PILKEY, O. H. **Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation.** Ocean & Coastal Management, 42(8), 647-670. 1999.

CAPUTO, H. P.; CAPUTO, A. N.; **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 7. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia.** 1980.

COLLINS, B.D. & SITAR, N. **Processes of coastal bluff erosion in weakly lithified sands, Pacifica, California, USA.** Geomorphology, v. 97, p. 483 – 501, 2008.

DAMGAARD, J.S., DONG, P. **Soft cliff recession under oblique waves: physical model tests**. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering 130, 234-242, 2004.

DAVIDSON-ARNOTT, R. **Introduction to coastal processes and geomorphology**. Cambridge university press, 2010, 442p.

DIAS, A. J. **A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos**. e-book (versão preliminar). Faro, Universidade do Algarve, 2004.

DIAS, F. P., & DE PAULA HERRMANN, M. L. **Susceptibilidade a deslizamentos: estudo de caso no bairro Saco Grande, Florianópolis-SC**. Caminhos de Geografia, 3(6), 2002.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. Centro de hidrografia da marinha. **Banco nacional de dados oceanográficos, Previsões de maré**. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/40280Jan2017.htm>. Acesso em: 07 de julho de 2017.

DNER. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 041/94. **Solos – Preparação de amostras para ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 1994a.

DNER. DNER-ME 093: **Solos – Determinação da densidade real**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, p. 4, 1994.

EMBRAPA. **Levantamento do reconhecimento dos solos do estado do Espírito Santo/ Panoso**, Luzberto Achá, 1978.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo** 2ª edição. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos /Humberto Gonçalves dos Santos... [et al.]**. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF, 2018.

EGUCHI, B. M. M.; ALBINO, J. **Bluff Retreat Induced by Wave Action on a Tropical Beach, In Espírito Santo, Brazil.** Brazilian Journal of Geophysics, v. 36, n. 4, p. 569-580, 2018.

EGUCHI, B. M. M. **Dinâmica e o estágio evolutivo do sistema praia-falésia em Maimbá-ES.** Dissertação de Mestrado, RiUfes, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental, Departamento de Oceanografia e Ecologia, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo. 2018.

EMERY, K.O.; KUHN, G.G. **Sea cliffs: Their processes, profiles and classification.** Geological Society of America Bulletin, 93. 1982. p. 644-654.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Status of the World's Soil Resources: Main Report.** Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy, 2015, 607p.

FERNANDES, N. F. & ALMEIDA, J. C. DE ALMEIDA. Processos Endogenéticos na Formação do Relevo. In: CUNHA, D. S.; GUERRA, T. J. A. (org.). **Geomorfologia: Técnicas e Aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1996.

FERNANDES, N. F., & Amaral, C. D. **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica.** Geomorfologia e Meio Ambiente. Bertrand, Rio de Janeiro, 123-194, 1996.

FOLK, R.L. **The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature.** Journal of Geology, 62(4):344-359. 1954.

FOLK, R. L., & WARD, W. C. **Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters.** Journal of Sedimentary Research, 27(1), 3-26, 1957.

FREEZE, R. A. & CHERRY, J. A.: **Groundwater,** Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, 1979.

GREENWAY, D. R. **Vegetation and slope stability**. Slope stability: geotechnical engineering and geomorphology/edited by MG Anderson and KS Richards, 1987.

GUERRA, A. J. T. & BOTELHO, R. G. M. **Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos**. Anuário do Instituto de Geociências - V. 19 – 1996.

GUIDICINI, G. & NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: 2a ed. Edgard Blücher. 194p, 1984.

HACKNEY, C., DARBY, S.E., LEYLAND, J. **Modelling the response of soft cliffs to climate change: a statistical, process-response model using accumulated excess energy**. Geomorphology 187, 108-121, 2013.

HALCROW GROUP LTD., HR WALLINGFORD, JOHN CHATTERTON ASSOCIATES. **National Appraisal of Assets at Risk from Flooding and Coastal Erosion, Including the Potential Impact of Climate Change**. Technical report to Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), London, 2001.

HEAD, K.H. **Manual of Soil Laboratory Testing**. 2ª ed., London, Pentech Press, 1992, 2 v.

HIGHLAND, L., & BOBROWSKY, P. T. **The landslide handbook: a guide to understanding landslides** (p. 129). Reston: US Geological Survey, 2008.

IBGE. **Glossário Geológico**. Rio de Janeiro, 1999.

INFANTI JUNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. **Processos de Dinâmica Superficial**. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia e Engenharia (ABGE), 1998. Cap.9, p. 131-152.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Ocupação de Encostas**. São Paulo, IPT, 1991.216p.

KARMANN, I. Ciclo da Água: Água subterrânea e sua ação geológica. In: Teixeira W. et al. (orgs). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. P. 113-138.

KENNEDY, D. M.; STEPHENSON, W. J.; NAYLOR, L. A. **Introduction to the rock coasts of the world**. Geological Society, London, Memoirs, v. 40, n. 1, p. 1-5, 2014.

KING, L. C. **A geomorfologia do Brasil Oriental**. Revista Brasileira de Geografia. 18:2, 147-265, 1956.

LEMOS, S. G. F. P. **Estudo da resistência não drenada de solo de baixa consistência por meio de ensaios de campo e laboratório**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro tecnológico, 2014.

MELLO, G. de; BUENO, C.R.P.; PEREIRA, G.T. **Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas**. Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental, v.10, p.315-322, 2006.

MELLO, V. F. B; TEIXEIRA, A. H. **Mecânica de solos**. São Carlos: Escola de Engenharia, 1967.

MORAIS, R. M. **Sistemas fluviais terciários na área emersa da Bacia do Espírito Santo (formações Rio Doce e Barreiras)**. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 144p, 2007.

MOURA-BUENO, J. M.; DALMOLIN, R. S. D.; MIGUEL, P. HORST, T. Z. **Erosão em áreas de encosta com solos frágeis e sua relação com a cobertura do solo**. Revista Scientia Agraria, v.19, n.1, p. 102-112, 2018. DOI: 10.5380/rsa. v19i1.53738.

MUEHE, D. Geomorfologia Costeira. In: CUNHA, D. S.; GUERRA, T. J. A. (org.). **Geomorfologia: Técnicas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1996.

MUEHE, D. **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. Brasília: MMA, 2006.

NEVES, L. E. **Estudo prático de argilas por difratometria de raios-x**. B. téc. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, 11 (1): 123-135, jan./mar. 1968.

NICKERSON, Dorothy. **Munsell Color System, Company, and Foundation**. Color Research and Application, v. 1, 1976.

PINTO, C. S. **Curso básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo, Oficina de Textos, 247 p, 2002.

POWERS, M. C. **A new roundness scale for sedimentary particles**. Journal of Sedimentary Research, 23 (2):117-119, 1953.

PROJETO ORLA. **Fundamentos para gestão integrada**. Ministério do Meio Ambiente, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. – Brasília: MMA, 2006.

PYE, K., FRENCH, P.W. **Targets for Coastal Habitat Recreation**. English Nature Science Series. English Nature, Peterborough, 1993.

ROSS, J. L. S. **Análise Empírica Da Fragilidade Dos Ambientes Naturais Antropizados**. Revista Do Departamento De Geografia, 8, 63-74, 2011.

SANTOS, S. P. **Tecnologia de Argilas**. Vol. 1-fundamentos, Ed. da USP-Ed. Edgard Blücher Ltda, 1975.

Sunamura, T. **A predictive model for wave induced cliff erosion, with application to Pacific coasts of Japan**. Jour. Geology 90, 166–178, 1982.

SUNAMURA, T. **Geomorphology Of Rocky Coasts**. Wiley, England, 302p. 1992.

SUNAMURA, T. **Rockycoast processes: with special reference to the recession of soft rock cliffs**. Proceedings of the Japan Academy, No.91. 2015. p. 481-500.

TEIXEIRA, P.C; DONAGEMMA, G. K.; FONATANA, A; TEIXEIRA, W. G.; **Manual de métodos de análise de solo** - 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TOMINAGA, L. K.; AMARAL, R.; SANTORO, J.; (Orgs.). **Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2ª ed. 2012.

VALLADARES, G. S.; GOMES, A. S.; TORRESAN, F. E.; RODRIGUES, C. A. G.; GREGO, C. R. **Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 47, n. 9, p. 1376-1383, 2012. DOI: 10.1590/S0100-204X2012000900023.

VARNES, D. J. (1958). **Landslide types and processes**. *Landslides and engineering practice*, 24, 20-47.

VARNES, David J. **Landslide hazard zonation: a review of principles and practice**. 1984.

VIEIRA, R. A. B.; MENDES, M. P.; VIEIRA, P. E.; COSTA, L. A. R.; TAGLIARI, C. V.; BACELAR, L. A. P.; FEIJÓ, F. J. **Bacias do Espírito Santo e Mucuri**. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 191–202, jan. /mar, 1994.

ZÊZERE, J. L.; FERREIRA, A. B.; RODRIGUES, M. L. **Landslides in the North of Lisbon Region (Portugal): conditioning and triggering factors**. Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy, v. 24, n. 10, p. 925-934, 1999.

ZÊZERE, José. **Dinâmica de vertentes e riscos geomorfológicos**. Relatório nº 41, Lisboa: Centro de Estudos Geográficos, Área de Geografia Física e Ambiente, 2005.

WALKDEN, M.J.A., HALL, J.W., 2005. **A predictive mesoscale model of the erosion and profile development of soft rock shores**. Coastal Engineering 52, 535-563.

WENTWORTH, C.K. **A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments.** Journal of Geology, 30(5):377-392. 1922.

WILSON, M.D., Stanton, P.T. 1994. **Diagenetic mechanisms of porosity and permeability reduction and enhancement: Reservoir quality assessment and prediction in clastic rocks.** SEPM Short Course 30, Tulsa, Oklahoma, SEPM Society for Sedimentary Geology. p 59-118.

WP/WLI, International Landslide Societies. UNESCO Working Party on World Landslide Inventory. **Multilingual Landslide Glossary.** WP/WLI. Richmond: BiTech publishers Ltd. 1993.

ANEXO A – CURVAS DE TENSÃO DE CISALHAMENTO X DEFORMAÇÃO

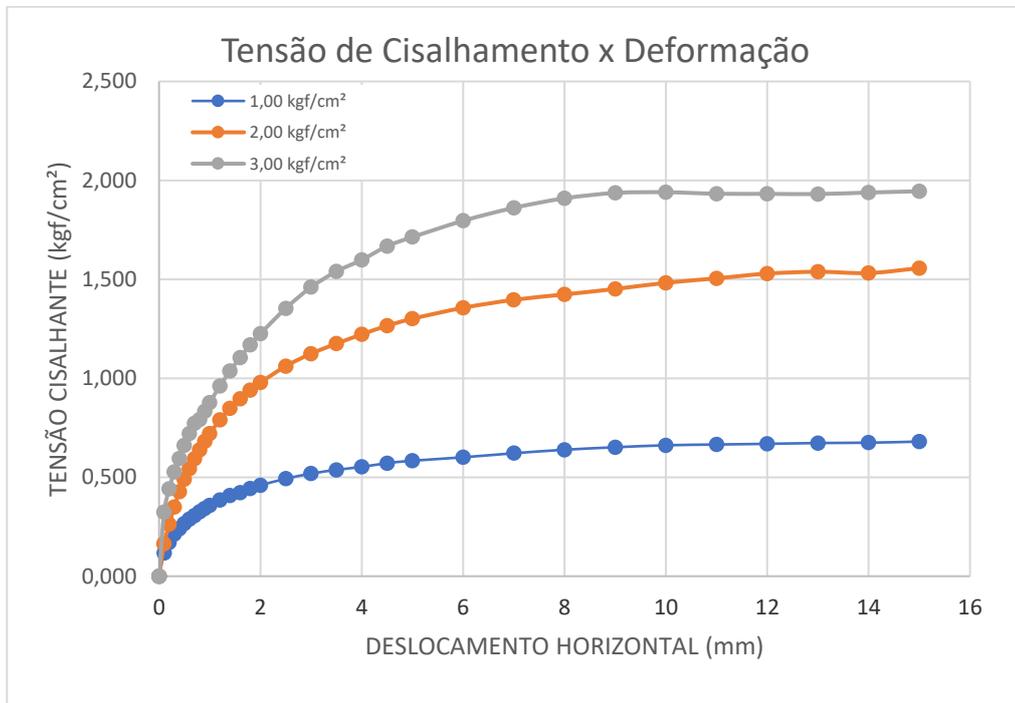


Figura 65. Fácies A.

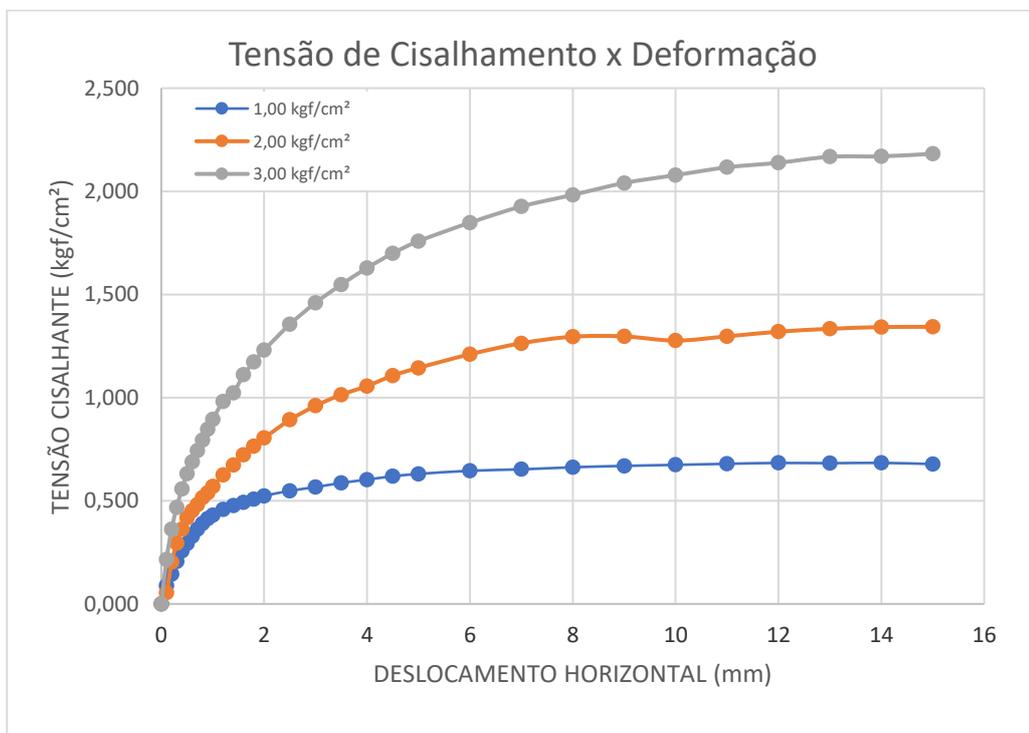


Figura 66. Fácies B.

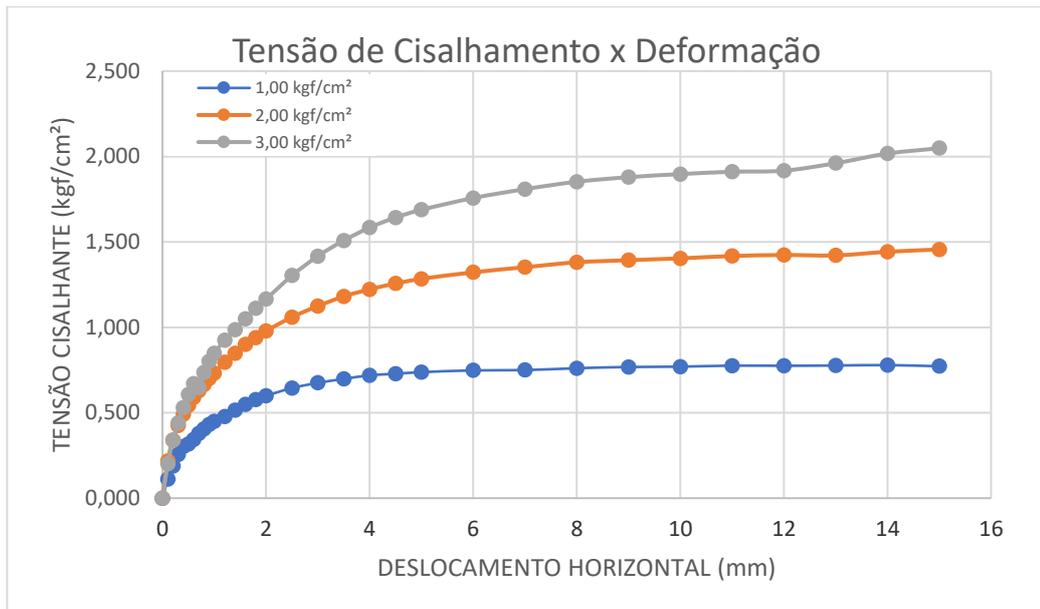


Figura 67. Fácies C.

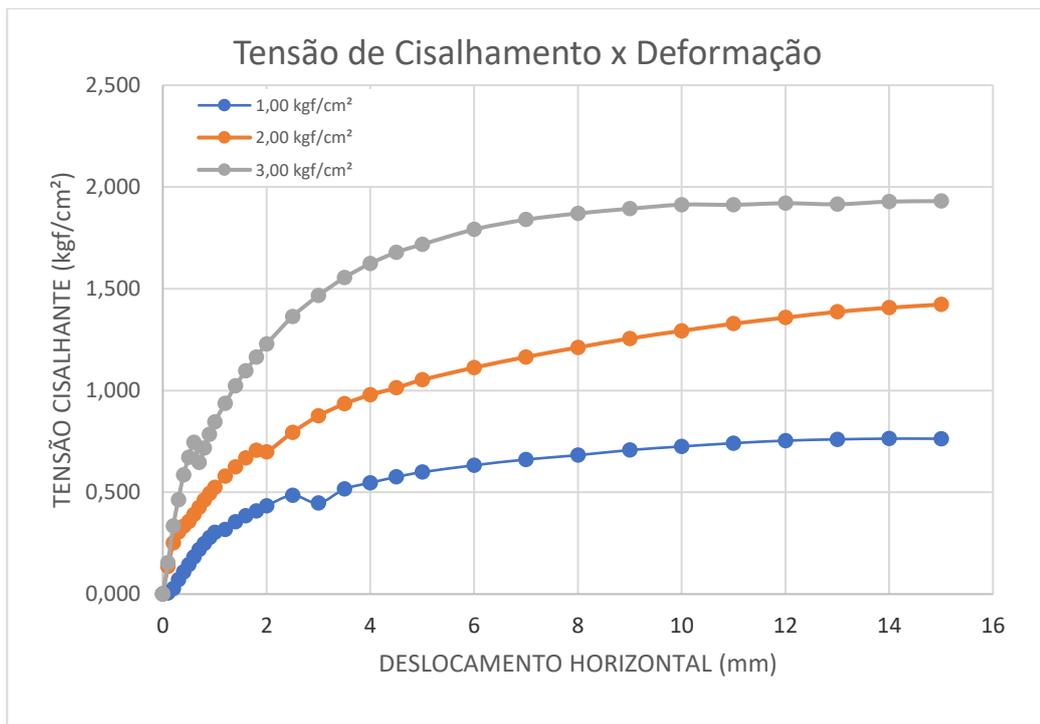


Figura 68. Fácies D.