



**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO  
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**

**FLAVIANA GOMES ALVES DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE UM SOLO ERODÍVEL COM A  
UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E FIBRA DE BAMBU**

Recife, PE  
2023



**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO  
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**

**FLAVIANA GOMES ALVES DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE UM SOLO ERODÍVEL COM A  
UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E FIBRA DE BAMBU**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientadora (a): Profa. Dra. Kalinny Patrícia Vaz Lafayette

Recife, PE  
2023

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Universidade de Pernambuco

S586a Silva, Flaviana Gomes Alves  
Avaliação das propriedades de um solo erodível com a  
utilização de resíduos da construção civil e fibra de bambu. /  
Flaviana Gomes Alves Silva. – Recife: UPE, Escola  
Politécnica, 2023.

151 f. il.

Orientadora: Profa. Dra. Kalinny Patrícia Vaz Lafayette

Dissertação (Mestrado – Construção Civil) Universidade de  
Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, Programa  
de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2023.

1. Solo Erodível. 2. Resíduo de Construção Civil. 3.  
Fibra de Bambu. I. Construção Civil – Dissertação. II.  
Lafayette, Kalinny Patrícia Vaz (orient.). III. Universidade  
de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em  
Construção Civil. IV. Título.

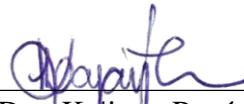
CDD: 690.028

**FLAVIANA GOMES ALVES DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE UM SOLO ERODÍVEL COM A  
UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E  
FIBRA DE BAMBU**

**BANCA EXAMINADORA:**

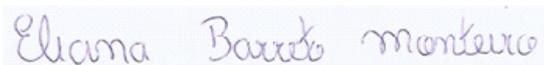
**Orientador(a)**



---

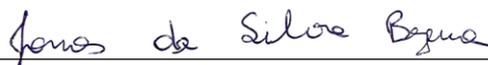
Profa. Dra. Kaliny Patrícia Vaz Lafayette  
Universidade de Pernambuco

**Examinadores(as)**



---

Profa. Dra. Eliana Cristina Barreto Monteiro  
Universidade de Pernambuco



---

Prof. Dr. Jonas da Silva Bezerra  
Universidade de Pernambuco

Recife, PE  
2023

## DEDICATÓRIA

A Deus por sua misericórdia e bondade infinita.  
Aos meus pais, João Gomes e Maria do Carmo,  
por serem exemplos de amor e dedicação, ao  
meu marido Ricardo Luís e minha filha Ana  
Luísa por todo carinho e compreensão durante  
este ciclo, e meus irmãos Flávio e minha irmã  
Fabíola pela torcida para tudo dar certo.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde física e mental, que me guiou por toda jornada, colocando os profissionais e amigos nas horas certas e incertas, que me deram forças para alcançar esse objetivo, que vai contribuir muito para minha vida profissional.

Ao meu marido Ricardo Luís e minha filha Ana Luísa Gomes, por serem minha base, por todo amor e compreensão, apoio e paciência neste período sempre me incentivando a concluir a pesquisa com êxito e sucesso.

Aos meus pais, Maria do Carmo Gomes (mãe) e João Gomes (pai), pelo exemplo diário de força, amor e garra. Aos meus irmãos Flávio Gomes pelo incentivo de estudar a fibra de bambu e Fabíola Gomes, pelo estímulo e exemplo de acreditar que a educação é a chave do sucesso.

Ao meu padrinho José Carlos, pelo incentivo no decorrer do curso de engenharia e pôr está sempre disposto a escutar e aconselhar durante toda minha vida.

A minha orientadora, professora Kalinny Lafayette por todo seu esforço para eu concluir este trabalho, pela dedicação, disposição, confiança, ensinamentos, paciência, compreensão, incentivo, sempre buscando melhorar o desenvolvimento da pesquisa.

A direção da Escola politécnica, à coordenação da Pós-Graduação, aos docentes e demais funcionários do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade de Pernambuco (Poli-UPE), em especial Lúcia Rosani Vieira, pela sua dedicação e profissionalismo.

Aos técnicos do laboratório de Solos da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Antônio Brito, pela disposição que me explicou todo o processo dos ensaios e Gutemberg Francisco pela orientação de execução e interpretação dos resultados mecânicos, sempre com muita paciência e disponibilidade.

Aos amigos especiais que me auxiliaram durante o desenvolvimento da pesquisa Carlos Fernando e Camila Inocência, por toda disposição, amizade e pelo incentivo no sucesso deste trabalho.

Aos amigos do mestrado, em especial, Michelli Santos, Luciana Lima, Igor Silva, Rayane Gabriella Pereira, Maria Conceição, Augusto César, Sanderson Damascena, Joedy Santa Rosa,

Rejane Vasconcelos, companheirismo, pelo apoio nos estudos e trabalhos realizados nas disciplinas e por todos os momentos de alegria e ansiedade que passamos neste ciclo acadêmico.

A mestre e engenheira Joedy Santa Rosa, que conheci durante a pesquisa, pelo fornecimento dos bambus utilizados, orientações técnicas, referência acadêmica e pela disposição em ajudar durante o processo.

À empresa Ciclo Ambiental, por, gentilmente, fornecer o resíduo de construção civil utilizado nesta pesquisa e por disponibilizar informações sempre que necessário.

A Prefeitura do Recife – Autarquia de Manutenção e Limpeza Urbana do Recife (EMLURB), nas pessoas da Secretária Marília Dantas e do Diretor de limpeza Urbana Daniel Saboya, pela disponibilidade das informações sobre o recolhimento de resíduos da construção civil e fluxo de coleta de resíduos em geral.

A todos os componentes da Secretaria Executiva de Inovação Urbana da Prefeitura da Prefeitura do Recife, em especial aos operacionais Victor Miguel, Paulo Ricardo, Severino Araújo, Leumin Antônio e Agrício por toda ajuda e empenho no processo de desfibração do bambu e ao motorista Marcos Paulo que estava sempre ao meu lado me conduzindo da melhor forma possível neste período.

À Defesa Civil do estado de Pernambuco, em especial, ao gerente da Regional Noroeste, Erik Andrade e a técnica Ana Paula, por acompanhar as visitas realizadas na área de estudo. A Patrícia Ferraz, Elaine Holanda, Coronel Cássio Sinomar, pela disposição em contribuir com a pesquisa.

A assistente social e mestre Keila Lima Ferreira, técnica da organização ICLEI América do Sul, por todos os trabalhos fornecidos e pela disponibilidade em ajudar na pesquisa.

A Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa de Pernambuco – CONDEPE-FIDEM, pelo fornecimento dos mapas, auxiliando na análise temporal da área.

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para realização desta pesquisa, seja incentivando ou realizando alguma tarefa para cumprir alguma etapa até a finalização deste trabalho.

## RESUMO

O crescimento elevado da população mais vulnerável em locais inapropriados para moradia, potencializa os eventos de desastres naturais em áreas de risco, principalmente em áreas de encosta, sendo justificado pela falta de ordenamento urbano e de políticas públicas integradas. Diante disso, a presente pesquisa tem como objetivo estudar o solo de um talude com processo de erosão na comunidade do Campo da União, bairro da Macaxeira, Recife-PE, a fim de apresentar um compósito para o melhoramento das propriedades físicas e mecânicas deste material, utilizando fibras de bambu com teores de 1% e 1,5% e resíduo de construção civil – (RCC) em teores de 30% e 50%, buscando a garantia da estabilidade a partir de uma solução sustentável e economicamente viável. Nessa área foi realizada uma avaliação espaço-temporal, obtendo-se informações sobre a influência decorrente da ação antrópica, tendo como base as ortofotocartas do território e imagens de satélite, em escala 1:10.000, bem como as curvas de nível com equidistância de 5m. Foram analisadas as cartas dos anos de 1964, 1975, 1986, 2004, 2014 e 2021, onde cada mapa vetorizado identificaram 3 fatores, que contribuem para ocorrência de eventos de movimento de terra, tais como: taxa de ocupação, declividade e curvatura vertical. Logo, foi constatado que em 2021 a ocupação urbana chegou a 84,44%, fator este que gera instabilidade na área de risco, assim como a redução de 93,77% da vegetação existente quando comparada ao ano de 1964. Foram realizados ensaios laboratoriais que demonstraram, de acordo com o sistema Unificado – SUCS, que o solo da encosta é classificado como uma areia argilosa, já o RCC foi classificado como uma areia siltosa. A classificação da plasticidade do solo e do RCC é levemente plástico e não plástico, respectivamente. As análises químicas indicaram, pelo pH, que o solo e os compósitos apresentaram alcalinidade média à moderada, enquanto o RCC foi classificado como alcalino. No ensaio de eflorescência de raios-X foi identificado no RCC a presença de óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), óxidos de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), correspondendo aos constituintes do cimento Portland, o que comprova a participação de alguns compósitos cimentícios na conformação atômica dos resíduos, o que pode auxiliar no ganho de resistência. No solo, foi constatado predominância de óxido de silício, elemento este predominante em solos arenosos. Na caracterização mecânica foi constatado que as curvas de compactação dos materiais acrescentados de fibra, ocorrem um aumento da umidade ótima e uma redução da massa específica máxima do solo. Quanto à resistência a compressão simples – (RCS), na idade de ruptura de 28 dias, os resultados apresentaram variação de 169kPa a 374kPa e o compósito que apresentou o maior incremento de resistência foi o de S99F1, aumentando a RCS em 152,7% comparado ao solo, comprovado pela análise estatística. Foi realizado um diagnóstico socioambiental, utilizando a matriz Gravidade, Urgência e Tendência – (GUT) para classificação dos problemas ambientais, auxiliando no desenvolvimento de possíveis soluções. Foram executadas ações sociais relevantes na gestão de resíduos, que incentivam a conscientização ambiental, a partir da participação da população neste processo, atenuando as ações antrópicas.

**Palavras-chave:** solo erodível, resíduo de construção civil, fibra de bambu.

## ABSTRACT

The high growth of the most vulnerable population in inappropriate places for housing, potentiates the events of natural disasters in risk areas, mainly in hillside areas, being justified by the lack of urban planning and integrated public policies. In view of this, the present research aims to study the soil of a slope with an erosion process in the Campo da União community, Macaxeira neighborhood, Recife-PE, in order to present a composite for the improvement of the physical and mechanical properties of this material. , using bamboo fibers with contents of 1% and 1.5% and civil construction waste – (RCC) in contents of 30% and 50%, seeking to guarantee stability from a sustainable and economically viable solution. In this area, a space-time assessment was carried out, obtaining information on the influence resulting from anthropic action, based on orthophoto maps of the territory and satellite images, on a 1:10,000 scale, as well as contour lines with an equidistance of 5m. The maps from the years 1964, 1975, 1986, 2004, 2014 and 2021 were analyzed, where each vectorized map identified 3 factors that contribute to the occurrence of earth movement events, such as: occupancy rate, slope and vertical curvature. Therefore, it was found that in 2021 the urban occupation reached 84.44%, a factor that generates instability in the risk area, as well as a reduction of 93.77% of the existing vegetation when compared to the year 1964. Laboratory tests were carried out which demonstrated, according to the Unified System - SUCS, that the soil on the slope is classified as clayey sand, whereas the RCC was classified as silty sand. The plasticity classification of soil and RCC is slightly plastic and non-plastic respectively. Chemical analyzes indicated, by pH, that the soil and composites had medium to moderate alkalinity, while the RCC was classified as alkaline. In the X-ray efflorescence test, the presence of silicon oxide (SiO<sub>2</sub>), aluminum oxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) and iron (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) was identified in the RCC, corresponding to the constituents of Portland cement, which proves the participation of some cementitious composites in the atomic conformation of the residues, which can help in the gain of resistance. In the soil, a predominance of silicon oxide was found, this element being predominant in sandy soils. In the mechanical characterization, it is verified that the compaction curves of the materials added with fiber, there is an increase in the optimal humidity and a reduction in the maximum specific mass of the soil. As for the resistance to simple compression - (RCS), at the age of rupture of 28 days, the results showed a variation from 169kPa to 374kPa and the composite that presented the highest increase in resistance was that of S99F1, increasing the RCS by 152,7% compared to the soil, confirmed by statistical analysis. A socio-environmental diagnosis was carried out, using the Gravity, Urgency and Tendency matrix – (GUT) to classify environmental problems, helping to develop possible solutions. Relevant social actions were carried out in waste management, which encourage environmental awareness, based on the participation of the population in this process, mitigating anthropic actions.

**Keywords:** erodible soil, civil construction waste, bamboo fiber.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Disposição final de RSU no Brasil.....	27
Quadro 2- Situação dos municípios da RMR em relação às chuvas em maio/2022. ....	37
Quadro 3- Tipos de fibras.....	42
Quadro 4 - Variáveis consideradas na Matriz GUT .....	83
Quadro 5 - Pontuação do método GUT .....	83
Quadro 6 - Resultados de análises químicas semiquantitativas .....	99
Quadro 7- Problemas da gestão dos resíduos e seus impactos ambientais.....	126
Quadro 8- Variáveis para avaliação do diagnóstico .....	127

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Ecoestação da Av. Agamenon Magalhães, no bairro dos Torrões .....	28
Figura 2- Deposição irregular de RCC no Campo da União – Bairro da Macaxeira.....	29
Figura 3- Fluxograma de resíduos da cidade do Recife. ....	30
Figura 4- Variação da resistência à compressão de RCC.....	32
Figura 5- Classificação final dos pontos de deposição irregular de RCC. ....	33
Figura 6- Deslizamento em Jardim Monte Verde, no Recife.....	37
Figura 7- Classificação das fibras.....	41
Figura 8 - Estrutura do bambu.....	44
Figura 9- Espaçamento de plantio e mudas do bambu.....	46
Figura 10 - Corte correto e incorreto do bambu.....	46
Figura 11 - Resultados da resistência à compressão axial.....	47
Figura 12 - Cartilha de Práticas seguras nos morros.....	50
Figura 13 - Cartilha de educação ambiental .....	50
Figura 14 - Panfleto de educação ambiental.....	51
Figura 15 - Antes (a) e após (b) da Intervenção – Recife/PE.....	51
Figura 16 - Mapa de localização do Recife .....	52
Figura 17 - Mapa de sistema viário bairro da Macaxeira .....	54
Figura 18 - Talude em estudo (a) e área em estudo (b).....	55
Figura 19 - Massas verde presente nos centros urbanos do Recife .....	57
Figura 20 - Precipitações médias no Recife em 2023 até mês de junho .....	58
Figura 21 - Mapa hipsométrico do Recife com área de estudo em destaque .....	59
Figura 22 - Mapa pedológico do Recife .....	60
Figura 23 - Mapa do sistema hidrográfico do Recife .....	61
Figura 24 - Fluxograma das etapas da pesquisa .....	63
Figura 25 - Vista aérea do talude e área de estudo .....	66
Figura 26 - Vista superior do talude em estudo.....	67
Figura 27 - Moldagem do corpo de prova .....	67
Figura 28 - Agregado reciclado .....	68
Figura 29 - Bambu utilizado na pesquisa .....	69
Figura 30 - Processo de preparo da amostra do bambu.....	69
Figura 31- Dispositivo para uniformizar a fibra (a) fibra uniformizada (b).....	70
Figura 32- Amostra de bambu após o corte.....	70

Figura 33 - Sedimentação do solo .....	72
Figura 34 - Ensaio de densidade real.....	72
Figura 35 -Corpos de prova do ensaio de compactação .....	73
Figura 36- Rompimento do corpo-de-prova para o ensaio de compressão simples - solo (a) e compósito (b).....	75
Figura 37- Ensaio de cisalhamento direto .....	75
Figura 38-Difratômetro de Raio-X.....	77
Figura 39- Ensaio de pH.....	78
Figura 40- Equipamento de marca Rigaku, modelo ZSX Primus II .....	79
Figura 41- Fluxograma da conscientização ambiental .....	82
Figura 42 - Percentuais das áreas para os anos de 1964, 1975, 1986, 2004, 2014 e 2021 .....	85
Figura 43 - Evolução da ocupação do Território.....	86
Figura 44 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo – 1964.....	89
Figura 45 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo – 1975.....	90
Figura 46 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo – 1986.....	91
Figura 47 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo – 2004.....	92
Figura 48 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo – 2014.....	93
Figura 49 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo – 2021 .....	94
Figura 50 - Curvas granulométricas .....	96
Figura 51 - Difratograma de Raio X do solo .....	101
Figura 52- Difratograma de Raio X do Agregado Reciclado.....	102
Figura 53- a e b: Análise do solo com lupa binocular .....	103
Figura 54- Análise mineralógica do RCC com lupa binocular .....	104
Figura 55 - Curva de compactação do solo e RCC .....	105
Figura 56 - Curva de compactação (S99 F1; S50 R49 F1; S70 R29 F1) .....	106
Figura 57 - Curvas de Tensão Cisalhante x Deslocamento horizontal - condição natural (a) e condição inundada (b) .....	108
Figura 58 - Curvas de Deslocamento Vertical X Deslocamento horizontal - condição natural (a) e condição inundada (b).....	108
Figura 59 a e b - Envoltória de resistência dos cisalhamentos diretos: natural e inundada....	109
Figura 60- Curvas de tensão x deformação do solo-RCC – 7 dias de cura.....	112
Figura 61- Curvas de tensão x deformação dos compósitos de solo-RCC-Fibra de bambu para 7 dias de cura .....	113

Figura 62- Curvas de tensão x deformação dos compósitos de solo-RCC-Fibra de bambu - 28 dias de cura com fibra.....	113
Figura 63- Curvas de tensão x deformação dos compósitos de solo-RCC-Fibra de bambu - 28 dias de cura sem fibras.....	114
Figura 64- Resultado da Resistência à compressão simples .....	114
Figura 65 a e b - Crescimento percentual da RCS dos compósitos com RCC e fibra.....	115
Figura 66 - Crescimento da RCS dos compósitos de solo-RCC-fibra ao longo dos 7 e 28 dias .....	116
Figura 67- a e b: Corpos de prova do compósito S99F1 e S50R49F1 após ruptura .....	117
Figura 68- Corpos de prova dos compósitos S50R50 S70R30 .....	117
Figura 69 - Superfície de resposta para o modelo quadrático, em função das variáveis RCC e FIBRA .....	121
Figura 70- Pontos críticos de lixo irregular .....	123
Figura 71- Diagnóstico de variáveis sobre pontos críticos de lixo no Campo do União .....	123
Figura 72- (a) e (b) Ponto crítico de lixo x revitalização da parada de ônibus.....	124
Figura 73- Folder da Campanha Unidos contra o Lixo .....	124
Figura 74- Pontos de entrega voluntário .....	125
Figura 75 - Resultados do gráfico boxplot para análise das médias dos dados e distribuição normal.....	129
Figura 76- (a) Superfície resposta quanto as variáveis que influenciam no descarte inadequado dos resíduos e na proliferação de doenças (b) Diagrama de Pareto .....	130

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Levantamento dos Resíduos de Construção Civil – Anos 2021 e 2022.....	28
Tabela 2- Caracterização física e química da fibra de Bambu .....	45
Tabela 3- Identificação dos Compósitos .....	71
Tabela 4- Identificação dos compósitos e quantificação dos corpos de prova x tempo de rompimento.....	74
Tabela 5- Parâmetros dos corpos de prova.....	74
Tabela 6- Tipos de pH .....	78
Tabela 7- Dados de Uso e ocupação do solo dos anos de 1964, 1975, 1986, 2004, 2014 e 2021 .....	84
Tabela 8- Ensaio realizados na pesquisa.....	95
Tabela 9- Percentual de tamanho dos grãos dos materiais e compósitos .....	96
Tabela 10- Classificação das amostras segundo o SUCS.....	97
Tabela 11- Densidade real das amostras.....	97
Tabela 12- Limites de Atterberg dos materiais e compósitos .....	98
Tabela 13- Valores de pH em água e KCl das amostras .....	100
Tabela 14- Umidades ótimas e massa específica seca dos materiais e compósitos .....	107
Tabela 15- Resultado dos ensaios de cisalhamento.....	109
Tabela 16- Parâmetros de resistência ao cisalhamento de solos provenientes da Formação de Barreiras.....	110
Tabela 17- Resistência à compressão simples .....	111
Tabela 18- Parâmetros e intervalos das variáveis.....	118
Tabela 19- Interações entre as variáveis em função da RCS.....	118
Tabela 20- ANOVA das variáveis independentes .....	119
Tabela 21- Modelo sintetizado .....	120
Tabela 22- Teor de formação do compósito para otimização da RCS máxima .....	121
Tabela 23- Teste ANOVA fator único para análise de variáveis .....	128

## LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANOVA	Análise de Variância
APAC	Agência Pernambucana de águas e Clima
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONDEPE/FIDEM	Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco
CP	Corpo de Prova
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Mnerais
CTR	Centro de Treinamento de Resíduo
Cu	Coeficiente de uniformidade
DQR	Departamento de Química Fundamental
DRX	Difratometria de Raios X
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMLURB	Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana
FRX	Fluorescência de Raios X
GC	Grau de Compactação
GPS	Global Positioning System
GRD	Gestão de Risco de Desastre
GUT	Gravidade, Urgência e Tendência
JBR	Jardim Botânico do Recife
IAEG	International Association of Engineering Geology
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IP	ndice de Plasticidade
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
MAC	Macrozona de Ambiente Natural e Cultural
MEAS	Massa Específica Aparente Seca
NBR	Norma Brasileira
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PCR	Prefeitura da Cidade do Recife
PGRCC	Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil

PMRR	Plano Municipal de Redução de Risco
RCC	Resíduo da Construção Civil
RSU	Resíduo Sólido Urbano
RCS	Resistência à Compressão Simples
RCMG	Resíduo de Construção Mármore Granito
RMR	Região Metropolitana do Recife
RPA	Região Político Administrativa
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
SEMAS	Secretaria de Sustentabilidade e Meio Ambiente
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SUCS	Sistema Unificado de Classificação Dos Solos
TRB	Transportation Research Board
TP	Tempo de Cura
PLAC	Plano Local de Ação Climática
UFCA	Universidade Federal do Cariri
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
UPE	Universidade de Pernambuco
UPE/POLI	Universidade de Pernambuco/Escola Politécnica de Pernambuco
UTM	Universal Transversa de Mercator
ZEIS	Zona Especial de Interesse Social

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	20
1.1 Justificativa .....	22
1.2 Objetivos .....	23
1.2.1 Objetivo geral .....	23
1.2.2 Objetivos específicos .....	23
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	24
2.1 Crescimento Urbano.....	24
2.2 Resíduos Sólidos.....	25
2.2.1 Definição e classificação.....	25
2.2.2 Resíduos da Construção Civil .....	26
2.2.3 Gestão do RCC .....	31
2.3 Gestão das áreas degradadas .....	34
2.3.1 Impactos das construções irregulares .....	34
2.3.2 Melhoramento de solos erodíveis .....	38
2.4 Fibras e o uso na engenharia .....	39
2.5 Fibra de Bambu.....	43
2.5.1 Origem e utilização .....	43
2.5.2 Propriedades do Bambu .....	44
2.5.3 Uso do Bambu.....	45
2.5.4 Conscientização Ambiental .....	48
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA .....	52
3.1 Localização .....	52
3.2 Características socioeconômicas .....	55
3.3 Características fisiográficas .....	56
3.3.1 Vegetação .....	56
3.3.2 Clima .....	57
3.3.3 Relevo.....	58
3.3.3.1 Geologia.....	59
3.3.3.2 Hidrografia.....	60
4 MATERIAIS E MÉTODOS .....	62
4.1 Avaliação Espaço-temporal.....	64

4.1.1 Mapas de uso e ocupação do solo.....	64
4.2 Coleta de materiais.....	66
4.2.1 Solo.....	66
4.2.2 Resíduo de Construção Civil – (RCC).....	68
4.2.2 Coleta da fibra do bambu .....	68
4.3 Determinação dos percentuais dos compósitos .....	70
4.4 Programa Experimental.....	71
4.4.1 Caracterização física .....	71
4.4.2 Caracterização Mecânica.....	73
4.4.2.1 Ensaio de compactação .....	73
4.4.2.2 Resistência à Compressão simples .....	73
4.4.2.3 Ensaio de cisalhamento direto .....	75
4.4.3 Caracterização mineralógica .....	76
4.4.3.1 Lupa binocular .....	76
4.4.3.2 Difração de Raios-X (DRX).....	76
4.4.4 Caracterização química .....	77
4.4.4.1 Ensaio de pH.....	78
4.4.4.2 Fluorescência de Raios-X (FRX).....	79
4.4.4.3 Análises estatísticas .....	80
4.4.4.4 Conscientização ambiental .....	81
4.4.4.5 Aplicação da Matriz GUT .....	82
5 RESULTADOS.....	84
5.1 Avaliação espaço-temporal .....	84
5.2 Ensaio de laboratório.....	95
5.3 Caracterização física .....	95
5.3.1 Análise granulométrica .....	95
5.3.2 Densidade real dos grãos.....	97
5.3.3 Limites de Atterberg .....	98
5.4 Caracterização química .....	98
5.4.1 Fluorescência de Raio X .....	98
5.4.2 Ensaio de pH.....	100
5.4.3 Caracterização Mineralógica.....	101
5.4.3.1 Análise do ensaio de Difração de Raio X .....	101
5.5 Caracterização Mecânica .....	105

5.5.1 Compactação.....	105
5.5.2 Resistência ao cisalhamento direto.....	107
5.5.3 Resistência à Compressão Simples.....	110
5.5.3.1 Deslocamento Axial.....	116
5.5.3.2 Análise estatística dos resultados do RCS.....	117
5.5.3.3 Conscientização Ambiental.....	122
6 CONCLUSÕES.....	131
7 SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO.....	134
REFERÊNCIAS.....	135

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado da população e a ocorrência de fenômenos naturais impactam diretamente na distribuição do espaço geográfico. Nesse contexto, os eventos de desastres são potencializados nas áreas de risco, onde a população mais carente ocupa locais inapropriados para moradia. Dessa forma, é de grande relevância o gerenciamento dos impactos socioambientais, a fim de mitigar prejuízos e perdas relativas as ações antrópicas que vulnerabilizam o meio ambiente (ROBAINA; TRENTIM, 2023; RANIERI; COSTA; ROSA, 2023; GONÇALVES; SILVA; LAFAYETTE, 2021).

Com o avanço tecnológico, diversas mudanças ocorrem nos setores produtivos da sociedade, levando em consideração as premissas pautadas no desenvolvimento econômico e social. De acordo com Yaras *et al.*, (2021) a indústria da construção civil é considerada um dos maiores setores de produção mundial, pois está atrelada ao avanço de novas técnicas de construção e tecnologias aplicadas ao seu desenvolvimento.

O crescimento do setor da construção civil contribui para o aumento da geração de Resíduos sólidos, frente ao surgimento de novos empreendimentos ou pela execução de obras de reparo e reformas. Ao serem descartados, os resíduos sólidos passam por um processo aglomerado de mistura com resíduos orgânicos, o que pode promover a geração de vetores que intensificam as doenças e dificultam o processo de coleta e reciclagem (PAZ *et al.*, 2018).

Nos moldes atuais, projetos estão sendo desenvolvidos com o objetivo de minimizar os impactos ambientais causados pelo descarte incorreto de resíduos sólidos. O gerenciamento dos resíduos se apresenta como uma ferramenta importante para as discussões e pautas integrativas frente as ações sociais, políticas, econômicas e, sobretudo, ambientais, levando em consideração a gestão de resíduos sólidos como uma pauta instrumental para a planejamento urbanístico (SANTOS; MARCHESINI, 2018).

Conforme estudos realizados por Mohammed, Elkady e Abdel-gawwad (2021), a reutilização e a reciclagem dos resíduos sólidos são dois fatores que intensificam as práticas preservativas e ambientais, bem como possibilita a diminuição dos resíduos nos aterros. Assim, faz-se necessário desenvolver alguns métodos que promovam a utilização ambientalmente correta,

onde esses materiais alternativos podem ser aplicados, para estabilização de encostas com solos erodíveis, com reforço das propriedades físicas e mecânicas (SANTOS, 2020).

A erosão do solo é uma das consequências da expansão desordenada de ocupações ilegais das áreas de risco, ações antrópicas, sendo esta, a causa mais frequente da movimentação de massa em taludes ocupados pela população mais vulnerável (OLIVEIRA JÚNIOR, 2018). De acordo com Portela (2019) a erodibilidade de taludes pode ser definida como a suscetibilidade do solo quando submetido a processos erosivos, necessitando avaliação por meio de ensaios de caracterização geotécnica, principalmente frente a erosão hídrica.

No âmbito global, observa-se o contínuo crescimento das áreas urbanas, principalmente em regiões mais íngremes como os morros/taludes, porém esse progresso não é seguido de um planejamento frente a ocupação territorial. Assim, a ausência nas integrações de serviços de infraestrutura urbana nessas áreas, pode agravar os riscos maiores como os deslizamentos (SANTOS, 2020; SILVA; SANTOS; ARAÚJO, 2017; VIEIRA; NOGUEIRA, 2018; YARAS *et al.*, 2021).

As áreas que possuem relevo acidentado, e que na maioria das vezes, são marcadas por ocupações irregulares na encosta e na circunvizinhança, possuem o risco elevado de deslizamentos. Por isso, tornam-se necessárias alternativas para melhoramento de solo, análise de estabilidade e propostas de políticas públicas de gestão de risco, a fim de erradicar ou diminuir catástrofes de movimento bruscos de terra (YARBAŞI; KALKAN, 2020).

Atualmente, tem sido discutido os impactos ambientais causados pelo descarte incorreto dos resíduos sólidos. De acordo com Rodriguez, Zamora e Pérez (2021) a gestão dos resíduos sólidos impõe barreiras das quais gestores públicos e privados que desejam alcançar a sustentabilidade. As ações da coletividade e as iniciativas do poder público são imprescindíveis, no entanto, é necessário buscar a atuação individual para superar estas barreiras e inspirar protagonistas nesse desafio.

Diante disso, é possível melhorar as propriedades físicas e mecânicas, incorporando resíduos de construção civil e fibras naturais como solução sustentável, abrangendo questões sociais e ambientais. A melhoria do solo é uma premissa básica para o suporte das cargas estruturais, principalmente quando se trata de um solo erodível. Neste trabalho de pesquisa, foi estudado o

solo reforçado com fibra de bambu, além do RCC, como uma alternativa de melhorar as características deste solo.

### **1.1 Justificativa**

A presente pesquisa busca por alternativas de melhoramento do solo de uma encosta na comunidade do Campo da União, Macaxeira, Recife-PE, objetivando analisar a inserção do resíduo de fibras de bambu e resíduos de construção civil para reforço de solo erodível, tendo em vista diminuir o risco de deslizamentos da encosta, assim como o impacto ambiental, uma vez que as fiscalizações das políticas públicas são insuficientes para o cumprimento da legislação.

O Campo da União, está incluso no perímetro da Região Política Administrativa - RPA 3, apresentando uma área territorial de 9,39 ha. Nesta RPA se concentra a maior parte dos pontos críticos de deslizamentos em monitoramento do Recife (PREFEITURA DO RECIFE, 2022). No Recife, é registrado no Plano Diretor da cidade (2021), que o município possui cerca de 10.000 pontos críticos de risco de deslizamento de encostas.

A recorrência de desastres de grande magnitude e os pequenos deslizamentos não divulgados na mídia são realidades no Brasil, causando impacto físico, social e ambiental. O ano de 2020 foi marcado com a pandemia da Covid 19, trazendo reflexões de como planejar o futuro com aprendizados para todas as áreas, principalmente, da necessidade de integração das políticas públicas municipais, estaduais e federais, que interferem no processo de resiliência diante da emergência climática.

Diante do exposto, a presente pesquisa busca analisar as propriedades físicas, mineralógicas, químicas e mecânicas de um solo em área de risco (solo, RCC e fibra de bambu), visando reduzir os impactos ambientais nesta área, contribuir para redução das consequências dos desastres naturais e promover o desenvolvimento sustentável da cidade.

## 1.2 Objetivos

### *1.2.1 Objetivo geral*

Analisar as propriedades do solo de uma encosta, situada em uma área de risco no bairro da Macaxeira, Recife-PE, com a incorporação de fibra de bambu e resíduos de construção civil – (RCC).

### *1.2.2 Objetivos específicos*

- Analisar um recorte espaço-temporal da encosta;
- Realizar a caracterização física, química e mineralógica;
- Verificar as propriedades mecânicas do solo e dos compósitos;
- Analisar estatisticamente e identificar o teor ideal do compósito;
- Identificar os impactos ambientais com relação ao gerenciamento de áreas de riscos, e propor ações educativas que incentivam a conscientização ambiental, minimizando as ações antrópicas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A procura por materiais sustentáveis que ofereçam viabilidade econômica e qualidade é um dos atuais desafios na construção civil, a fim de contribuir para a conservação do meio ambiente. Nesse sentido, a pesquisa busca investigar materiais alternativos com o propósito do desenvolvimento sustentável.

Assim, este capítulo apresenta aspectos sobre o crescimento urbano, Resíduos Sólidos e da Construção Civil (RCC), gestão de áreas degradadas e os impactos das construções irregulares, melhoramento de solos erodíveis, uso de fibras na engenharia e conscientização ambiental.

### 2.1 Crescimento Urbano

Ao analisar a história das cidades no Brasil, percebe-se que o crescimento e adensamento populacional, na grande maioria das cidades, tenderam a crescer exponencialmente enquanto o planejamento urbano junto com as políticas públicas era aplicado em um ritmo desacelerado. Como consequência, tem-se raras exceções de territórios em que foi possível aplicar o zoneamento e o cuidado com o projeto da cidade.

De acordo com dados da Prefeitura, o Recife possui cerca de 67,43% de solo acidentado, que caracteriza as áreas de morro da cidade. Diante desta realidade, é necessária a intensificação do controle urbano nas áreas de risco, sendo uma medida relevante e necessária, para diminuir e controlar as interferências nas encostas existentes (VERDE; SANTOS, 2019).

Segundo Verde e Santos (2019), as crescentes intervenções neste território, contribuem para o aumento dos pontos de riscos nas encostas, gerando instabilidade, devido a cortes e aterros ocasionados pelas construções irregulares, lançamento de água servida e resíduos.

Segundo Santana *et al.*, (2019), há uma predominância de moradias populares nas áreas de morros, caracterizando a população como de baixa renda, em situação de vulnerabilidade social, ou seja, as ocupações em áreas de risco possuem ligação direta com a exclusão social. Em razão desta condição social, pessoas se arriscam em áreas sujeitas a eventos de deslizamentos e inundações.

A verticalização dos imóveis, é outra tipologia bastante visível nos morros do Recife, que acompanha o crescimento populacional das famílias, gerando ainda mais sobrecarga nos taludes e instabilidade das encostas (SANTANA *et al.*, 2019).

## **2.2 Resíduos Sólidos**

### *2.2.1 Definição e classificação*

Dentre tantas definições para resíduos sólidos, duas são importantes de serem ressaltadas: a Norma Brasileira NBR 10.004 (ABNT, 2004) e a Lei 12.385, de 02 de agosto de 2010. Assim sendo, para a NBR 10.004 os resíduos sólidos e semissólidos são aqueles oriundos de diversas atividades, como: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviço e varrição.

A NBR 10.004 (ABNT, 2004) divide estes resíduos como perigosos, que provocam problemas a saúde ou ao ambiente, e não perigosos, que não provocam problemas. Os resíduos sólidos não perigosos são os considerados inertes, não solúveis em amostras de água, e não inertes, que são biodegradáveis, solúveis em água e combustíveis.

Os resíduos perigosos são divididos da seguinte forma: tóxicos, comprovados com letais à população; patogênicos, capazes de produzir possíveis doenças; inflamáveis, capazes de produzir fogo; reativos, reagem com a água, altamente instáveis e capazes de produzir explosivos; e os corrosivos, que possuem pH inferior a 2,0 e têm grande capacidade de corroer aços.

A Lei 12.385, de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010) descreve os resíduos como materiais produzidos pelas relações sociais e que devem ser destinados, correta e adequadamente, sendo classificado de acordo com sua origem ou periculosidade, nas quais se dividem em:

- Os resíduos sólidos domiciliares são originários das tarefas residências;
- Os resíduos de limpeza urbana são os originários das limpezas em áreas urbanas;
- Os resíduos sólidos urbanos é o conjunto dos resíduos domiciliares com o de limpeza urbana;
- Os resíduos dos serviços públicos de saneamento básico oriundos de qualquer atividade que não produza sólidos urbanos;

- Os resíduos de estabelecimentos comerciais são os destinados das atividades de limpeza urbana, de serviços públicos, de transporte, saúde e construção civil;
- Os resíduos industriais são os gerados na produção e fabricação em indústrias;
- Os resíduos de mineração são os oriundos da atividade de extração dos minérios;
- Os resíduos dos serviços de saúde são os gerados nos setores de saúde e necessitam de um descarte adequado;
- Os resíduos da construção civil são os gerados das atividades de construção civil;
- Os resíduos agrossilvopastoris são gerados pelos processos agropecuários e silviculturais (cultivos de florestas);
- Os resíduos de serviços de transportes são originados de todos os setores de transportes.

### 2.2.2 Resíduos da Construção Civil

Levando em consideração a produção dos resíduos sólidos da construção civil, sabe-se que o processo de classificação e caracterização é determinado pela resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA de número 307/2002, ao qual são definidos como aqueles gerados a partir de reforma, reparo, construção, ou qualquer atividade relacionada a este segmento. Além, de ser uma resolução importante para a definição da classificação dos resíduos gerados, considerando em suma a sua destinação e a possível reciclagem. Logo, os resíduos podem ser classificados como:

Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fio etc.) produzidas nos canteiros de obras;

Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;

Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (CONAMA, 2002, Art. 3, p.572).

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2022), foi observado um retorno gradual das atividades executadas antes da pandemia, assim o processo de consumo e descarte dos resíduos passou novamente por

transformações relevantes. Também foi incorporada, nas dinâmicas sociais e de trabalho, o modelo híbrido das atividades, gerando reordenamento dos centros de geração de resíduos.

No Brasil, durante o ano de 2021, foram coletados pelos municípios mais de 48 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Civil (RCC), representando um crescimento de 2,9% em relação ao ano de 2020 (ABRELPE, 2022). A quantidade coletada por habitante foi cerca de 227kg por ano, sendo que em boa parte, equivale a RCC irregular descartado em áreas públicas.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos Urbanos - RSU completou em 2020 uma década de sua sanção, crescendo a cobertura da coleta dos resíduos e atingindo 92% de RSU. A ABRELPE (2022), descreve que cerca de 71,6% desses resíduos vão para aterros sanitários e os outros 28,4% ainda seguem, para lixões e aterros controlados. No entanto, como mostra o Quadro 1, no Nordeste 62,8% dos Resíduos Sólidos Urbanos coletados ainda são destinados para locais inadequados.

Quadro 1- Disposição final de RSU no Brasil

REGIÃO	DISPOSIÇÃO ADEQUADA		DISPOSIÇÃO INADEQUADA	
	t/ano	%	t/ano	%
Norte	1.870.470	36,6%	3.240.105	63,4%
Nordeste	6.214.527	37,2%	10.491.191	62,8%
Centro-Oeste	2.532.762	43,5%	3.288.281	56,5%
Sudeste	29.773.638	74,3%	10.298.552	25,7%
Sul	6.020.694	71,6%	2.388.097	28,4%
<b>Brasil</b>	<b>46.412.091</b>	<b>61,0%</b>	<b>29.706.226</b>	<b>39,0%</b>

Fonte: ABRELPE, 2022.

Em 2022, na cidade Recife-PE, 279 mil toneladas do descarte regular de RCC, oriundo de PGRCC, destinado a empresa de reciclagem que é a CICLO AMBIENTAL na cidade de Camaragibe-PE e a Central de Tratamento de Resíduos Sólidos – CTR, Candeias na cidade de Jaboatão dos Guararapes-PE. Até abril de 2023, já foi registrado cerca de 147.000 toneladas de resíduos, dado este que constitui 50% dos resíduos coletados no ano de 2022, conforme a Autarquia de Manutenção e Limpeza Urbana do Recife (EMLURB) (2023). Isto confirma a retomada das atividades do setor da construção civil após o período de pandemia.

Segundo dados da EMLURB (2022), foram coletadas 117.348 toneladas de Resíduo de Construção Civil – RCC em 2021, dos quais os RCC de pontos irregulares representam 65,82% desse resíduo volumoso. Até dezembro/2022 esse valor totalizou 143.936,34 toneladas, onde 96.362,50 foram de recolhimentos de pontos irregulares na cidade, conforme a Tabela 1.

Tabela 1- Levantamento dos Resíduos de Construção Civil – Anos 2021 e 2022

DEMANDAS	Total 2021 (t)	Total 2022 (t)
Pontos irregulares	77.546,59	96.362,50
Obras Prefeitura do Recife	39.802,38	47.573,84
<b>TOTAL</b>	<b>117.348,97</b>	<b>143.936,34</b>

Fonte: EMLURB (2023).

A EMLURB, no ano de 2022, teve um custo de cerca de R\$ 40 milhões para coleta, transporte dos resíduos de construção civil coletados em locais irregulares, sendo depositados na Empresa CICLO AMBIENTAL, para tratamento e reciclagem.

No Recife, existem 8 Ecoestações e 3 Econúcleos, nos bairros da Imbiribeira, Arruda, Cohab, Totó, Torrões, Campo Grande, Torre, Barbalho, Via Mangue e Nova Descoberta (Figura 1). Estes são os pontos oficiais de recebimentos de resíduos, regulamentados pelo decreto nº 27399/2013, cujo objetivo é oferecer uma destinação para o descarte de resíduos de pequenas obras residenciais, com o volume de até 1m<sup>3</sup>/dia, a fim de evitar deposição irregular (Figura 2), além de ser uma alternativa para população.

Figura 1- Ecoestação da Av. Agamenon Magalhães, no bairro dos Torrões



Fonte: Autora.

Figura 2- Deposição irregular de RCC no Campo da União – Bairro da Macaxeira.

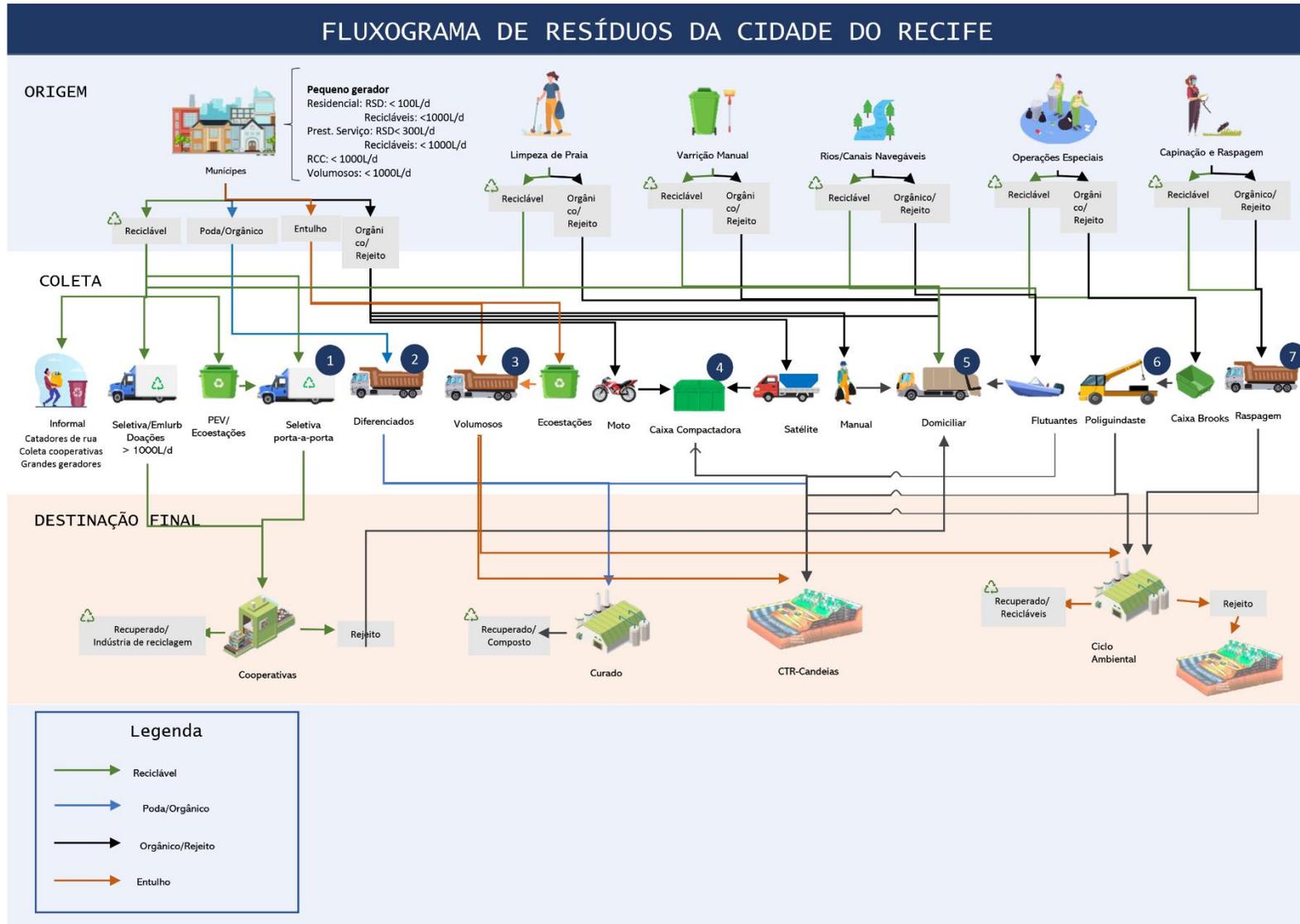


Fonte: Autora.

O instrumento que operacionaliza a gestão de resíduos é o Plano de Gerenciamento da Construção Civil (PGRCC), representa um documento técnico, estabelecendo um conjunto de procedimentos específicos para atendimento da Resolução nº 307/2002 do CONAMA (QUEIROZ; OLIVEIRA; LORDSLEEM, 2021).

A Autarquia de Limpeza Urbana do Recife – EMLURB, vem realizando a operação de recolhimento de resíduos conforme fluxograma da Figura 3, que aborda todo processo da origem, coleta e destinação final, abrangendo os resíduos recicláveis: poda/ orgânico, orgânico/rejeito e RCC (PREFEITURA DO RECIFE, 2022).

Figura 3- Fluxograma de resíduos da cidade do Recife.



Fonte: Prefeitura do Recife (2022).

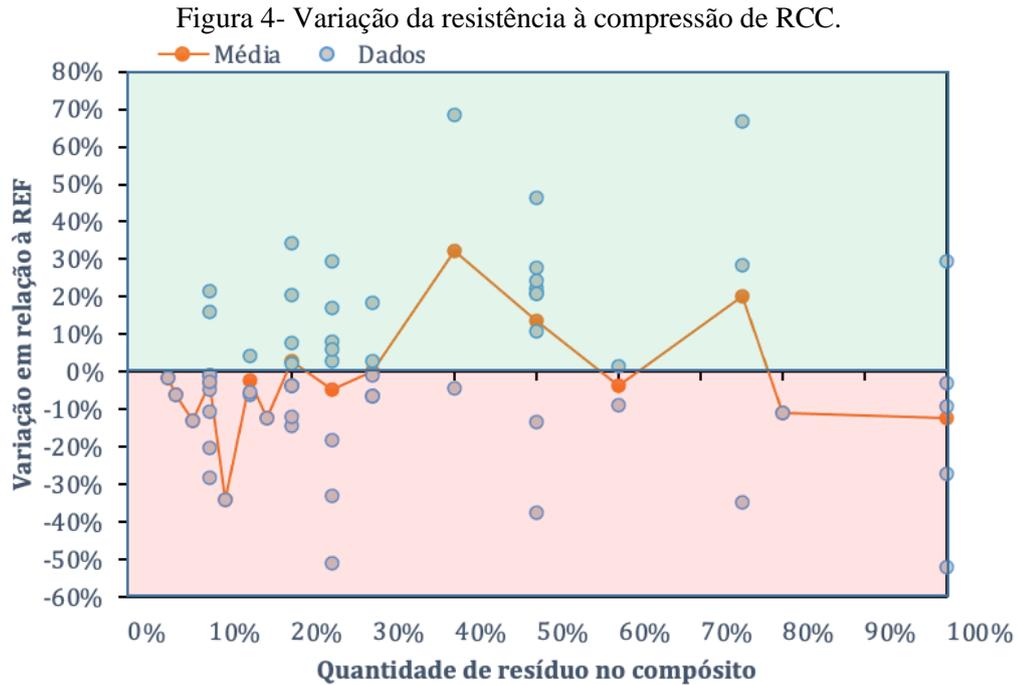
### 2.2.3 Gestão do RCC

A reutilização do material reciclado é uma contribuição para o desenvolvimento sustentável, possibilitando a reinserção destes materiais na cadeia produtiva. Logo, é de extrema relevância para o meio ambiente e para economia a viabilização de pesquisas para o emprego sustentável do RCC (PAIVA; HOSOKAWA, 2021; SANTA ROSA et al., 2022).

A grande geração de resíduos tem a indústria da construção civil como uma das principais responsáveis pela sua produção, logo quando seu destino é inadequado provoca grande impacto ao meio ambiente. Dessa forma, faz necessário a utilização de práticas que visem reduzir, reutilizar e reciclar (3Rs) para uma melhor gestão dos resíduos gerados na construção civil (QUEIROZ; OLIVEIRA; LORDSLEEM, 2021).

A reutilização dos RCC e sua reciclagem é uma alternativa viável e relevante para o meio socioambiental e econômico, uma vez que reduz a geração dos agregados, minimizam vetores de doenças, que são gerados do depósito de resíduos irregulares e diminuem o gasto público com a coleta em pontos irregulares (GOMES *et al.*, 2021).

Segundo Cruz (2021), o RCC pode ser utilizado como uma alternativa à substituição de agregados naturais, a fim de produzir argamassa de revestimento, diminuindo o impacto da construção civil ao meio ambiente. A Figura 4 mostra, que quando ocorre uma substituição de 100% de resíduos, obteve uma resistência positiva em 30% e o restante das porcentagens foram negativas, concluindo que se for utilizado apenas agregado reciclado a resistência pode ser baixa, mas é necessário analisar o teor de resíduo de cada amostra, de acordo com cada situação, para viabilizar o melhor percentual de aproveitamento do compósito.

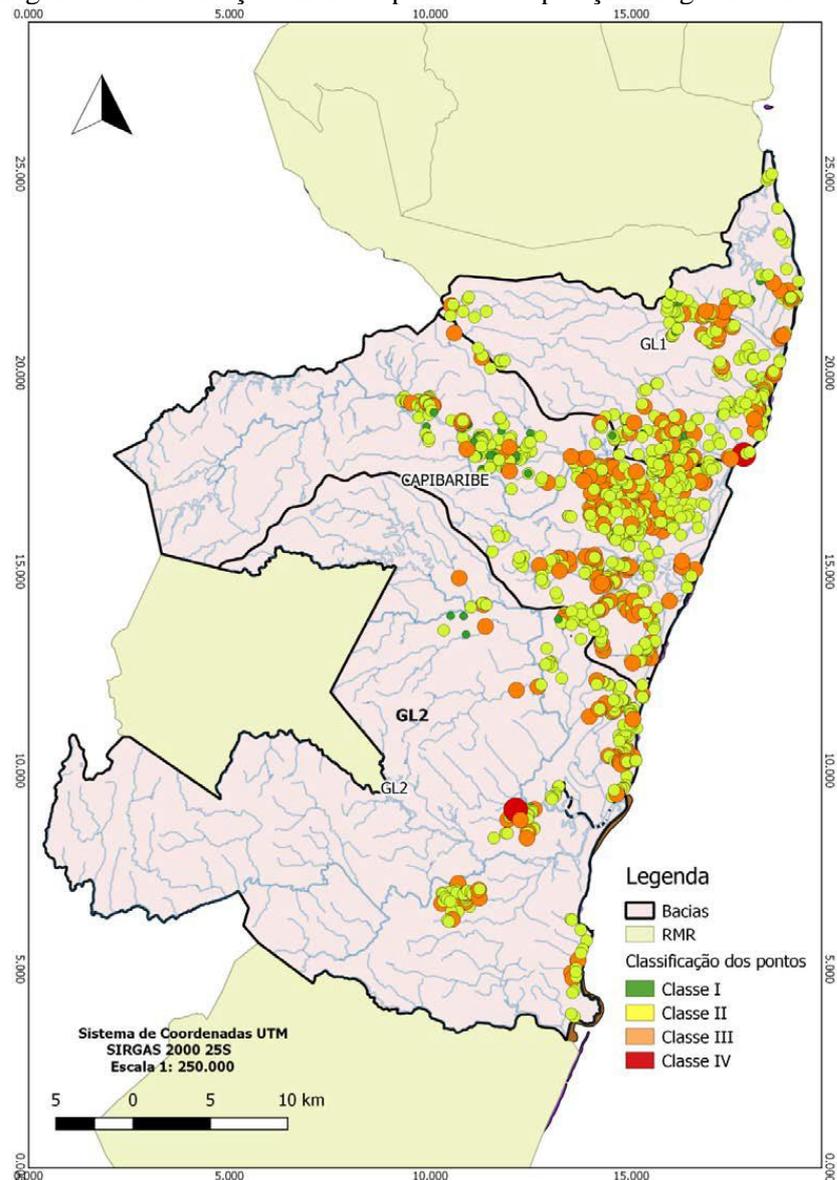


Fonte: Cruz (2021).

Foi apresentado por Paz *et al.* (2018), o mapeamento dos pontos de deposição irregular de RCC na Região Metropolitana do Recife (RMR), que demonstrou os impactos ambientais nas bacias hidrográficas. Assim, foram mapeados 1252 pontos irregulares, divididos em classes de risco para avaliação do potencial de impacto de cada local (Figura 5). A pesquisa concluiu que há necessidade de uma maior fiscalização por parte dos comitês das bacias, assim como a implantação de um plano gestor integrado dos RCC na Região Metropolitana do Recife – RMR.

Nascimento (2019), estudou a aplicação do RCC no sistema de cobertura final de aterros sanitários e concluiu que para uma argila de alta plasticidade, os compósitos com 50% solo mais adição de 50% RCC e 70% solo mais adição de 30% RCC, são eficientes para o devido fim, podendo também ser aproveitado como camada de superfície, camada de barreira hidráulica e fundação.

Figura 5- Classificação final dos pontos de deposição irregular de RCC.



Fonte: Paz *et al.*, (2018).

A pesquisa realizada por Silva (2020), identificou que os resíduos de construção civil proporcionam a variação das curvas granulométricas nos compósitos, na incorporação de 30% e 50% de resíduos reciclados. Em relação à resistência à compressão no compósito de 30% de RCC formado com adição de resíduo de madeira apresentaram melhor desempenho nos períodos de 7 e 28 dias de cura.

Silva *et al.*, (2018), através de um estudo do comportamento geomecânico de um solo reforçado com RCC, verificou que nos resultados dos ensaios de compactação a adição do RCC promoveu o aumento da densidade seca máxima e redução da umidade ótima, ou seja, aumentando a resistência do compósito.

Pedrosa (2021), observou que a adição de RCC nas misturas com a presença de fibras, resultou no aumento da resistência até determinada proporção, onde as amostras compostas por 30% de agregado reciclado – AR, após a adição de 0,5 % de fibra, assumiram os maiores valores de resistência. Desta forma, no período de cura de 60 dias, os compósitos de solo com 30% de AR apresentaram um aumento percentual na ordem de 25,9%, e após a adição de 0,5% de fibras, registrou 22,6% de aumento em relação ao solo.

Em relação a reutilização do RCC e do resíduo de cortes de mármore e granitos - RCMG na produção de tijolo ecológico, Souza (2022) observa que o compósito RCMG25% (solo substituído parcialmente pelo RCMG) apresentou ganho de 34% de resistência no compósito de RCMG25% aos 28 dias de cura em relação ao compósito RCMG30%RCC70% (solo RCMG e RCC), comprovando que o reuso do RCC possui viabilidade técnica, econômica e sustentável na construção civil.

## **2.3 Gestão das áreas degradadas**

### *2.3.1 Impactos das construções irregulares*

Embora seja de conhecimento geral que a urbanização impacta extremamente o processo de geração de eventos adversos, é importante também se aprofundar no impacto da urbanização na dependência espacial, que é um dos principais fatores para determinam a gravidade do risco de inundações em áreas de riscos (RUDNIAK; OLIVEIRA FILHO; ANDRADE, 2019).

Atualmente a urbanização vem se tornando cada vez maior, o que obriga as cidades a se desenvolverem constantemente. Porém, nem sempre o espaço proporcionado para um desenvolvimento social seguro, condiz com os crescentes níveis de urbanização, gerando regiões sobrecarregadas e demasiadas (BULTI; ABEBE, 2020; SONG *et al.*, 2021; LIU; MA, 2020; NASCIMENTO *et al.*, 2020).

No Brasil, é de grande importância que as ocupações urbanas irregulares sejam legalizadas, para se tornarem parte efetiva do contexto da cidade. Para iniciar o processo de regularização urbanística deve ser cumprida a legislação brasileira. Para o processo de regularização fundiária urbana, faz-se necessário projetos e mapeamento da infraestrutura existente, gerando

levantamentos dos impactos socioambientais e ajudando no planejamento urbano das áreas de risco (OLIVATTO; INGUAGGIATO; STANGANINI, 2022).

Com uma região não estruturada para suportar o crescimento urbano local, a população tem a tendência de começar a utilizar de áreas irregulares para a habitação, provocando riscos ambientais e sociais. Sabe-se que os impactos ambientais deste uso inapropriado são provocados pelo uso indevido e inesperado do solo, principalmente, quando é provocada uma grande retirada da vegetação local (OLIVEIRA *et al.*, 2015; CAVALCANTI *et al.*, 2016; MANTOVANI, 2016; OLIVEIRA; GIUDICE, 2017).

De acordo com Menezes *et al.*, (2016), apesar do fator ambiental da retirada da vegetação ser importante, os danos sociais da urbanização irregular também compõem um fator preocupante e alarmante, visto que o uso do solo pode ser um fator determinante para provocar grandes desastres ambientais, principalmente, os deslizamentos de encostas. Albuquerque (2016), ainda acrescenta a necessidade de uma fiscalização e um apoio governamental para a população de baixa renda, que busca construções irregulares, no intuito de mitigar os possíveis danos.

A falta de moradia adequada e a renda insuficiente para a busca de locais melhores são fatores determinantes para as construções em regiões de encosta. As ações antrópicas nas áreas de riscos são consideradas como um ponto importante para os desastres relacionados ao deslizamento.

Desta maneira, os principais impactos das construções irregulares como os cortes no talude, a deposição irregular dos materiais, a execução de moradias sem planejamento, dentre outros pontos, são os maiores agravantes para a redução da resistência do terreno, além da remoção da vegetação local, que facilita a infiltração da chuva no solo e aumenta a sua instabilidade. (CARVALHAIS *et al.*, 2019).

Segundo o Caderno Técnico de Gestão Integrada da Defesa Civil do Estado de Pernambuco e Governo Federal (2021), a Gestão de Risco e Desastres – GRD pode ser definida como um processo social permanente e contínuo apoiado por estruturas sociais e comunitárias, objetivando enfrentar a vulnerabilidade e ameaças presentes no território.

As ações essenciais para a Gestão de Risco de Desastre, são:

- Formulação de políticas públicas e instrumentos legais;
- Intervenções estruturais (obras e serviços, da engenharia tradicional e/ou de medidas não convencionais);
- Intervenções não estruturais (ações contingenciais, educação para prevenção e resiliência, comunicação de risco, medidas de redução das vulnerabilidades);
- Planejamento e preparação para o manejo dos desastres e para a reconstrução após os desastres (CADERNO TÉCNICO INTEGRADO DE RISCOS E DESASTRES, 2021).

No Recife foi lançado o Plano Local de Ação Climática – PLAC, que objetiva construir uma cidade mais resiliente, de baixo carbono, inclusiva, inovadora, circular e sustentável, com a finalidade de combater as mudanças do clima em seu território e proporcionar uma melhor qualidade de vida aos seus cidadãos (PLAC RECIFE, 2020).

O PLAC se baseia nos princípios da justiça climática, com soluções baseadas na natureza e economia verde, contribuindo para diminuição dos riscos e vulnerabilidades climáticas, onde se destacam as inundações, deslizamentos, ondas de calor e doenças transmissíveis e seca meteorológicas (PLAC RECIFE, 2020).

De acordo com a análise de riscos e vulnerabilidades, o bairro da Macaxeira, onde está inserida a localidade do presente estudo — o Campo da União, é considerado de maior risco, historicamente suscetível ao risco climático e permanece nas primeiras ações dos cenários projetados, juntamente com os bairros do Alto José Bonifácio, Campina do Barreto e Mustardinha (RECIFE, PLAC - SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE RECIFE, 2020).

Segundo a Defesa Civil do Estado de Pernambuco (2022), as fortes chuvas registradas na Região Metropolitana do Recife em maio de 2022, ocasionaram mais de 114 mortes e cerca de 9.000 desabrigados, acolhidos em abrigos da Prefeitura. Os Deslizamentos de taludes ocorreram em várias cidades, conforme o Quadro 2, que além de apresentar dados das chuvas durante o mês maio, também especifica a quantidade de ocorrências e vítimas em cada cidade. Os casos mais graves foram no bairro de Jardim Monte Verde (Figura 6), Ibura, municípios do Recife/Jaboatão dos Guararapes, Vila dos Milagres no Ibura, Córrego Jenipapo, Sítio dos Pintos

– Dois Irmãos, além das áreas alagáveis em Vila Arraes, no bairro da Várzea e Coqueiral, no bairro da Estância.

Quadro 2- Situação dos municípios da RMR em relação às chuvas em maio/2022.

MUNICÍPIO	OCORRÊNCIAS	VÍTIMAS DE DESLIZAMENTO	CHUVA ACUMULADA EM MAIO DE 2022 (mm)	ACUMULADO EM RELAÇÃO À MÉDIA (%)
Abreu e Lima	13	0	534,6	200%
Araçoiaba	0	0	509,9	246%
Cabo de Santo Agostinho	3	0	692,9	240%
Camaragibe	7	0	684,5	232%
Igarassu	5	0	633,4	225%
Itamaracá	1	0	527,7	182%
Ipojuca	0	0	812,2	276%
Itapissuma	0	0	501,7	181%
Jaboatão dos Guararapes	80	62	675	218%
Moreno	0	0	696	262%
Olinda	14	3	496,1	152%
Paulista	5	0	653,5	211%
Recife	23	49	679,1	206%
São Lourenço da Mata	48	0	506,6	208%
<b>Total</b>	<b>199</b>	<b>114</b>	<b>8603,2</b>	<b>217%</b>

Fonte: Adaptado da Secretaria de Defesa Civil de Pernambuco (2022).

Figura 6- Deslizamento em Jardim Monte Verde, no Recife.



Fonte: Autora.

O Instituto Nacional de Meteorologia em 2022 emitiu um alerta de acumulado de chuva para as cidades de Pernambuco, Alagoas, Paraíba, Rio Grande do Norte e Sergipe. Os alertas foram em nível amarelo, que significa perigo em potencial e chuvas de até 50mm/24h e outro em nível laranja que é de perigo e chuvas de até 100mm/h.

A Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), descreve que esse desastre natural teve a contribuição dos Distúrbios Ondulatórios de Leste, também chamados de Ondas de Leste, que se deslocam desde a Costa da África até o litoral leste do Brasil, e são denominados como perturbações no campo de vento e pressão, que atuam na faixa tropical do globo terrestre, formando nuvens de chuva por causa da circulação de vento, que vêm do continente africano, passam pelo oceano e chegam até o Nordeste do Brasil (CASTRO, 2022).

Os governos, a sociedade e a ciência possuem um grande desafio em relação as mudanças climáticas, ambientais e os desastres naturais, necessitando da redefinição dos métodos para transferência do conhecimento e das orientações técnico-científicas para a população, sobretudo moradores em áreas de risco de deslizamentos (MARCHEZINI, 2020).

O desafio maior é o envolvimento da população de forma a garantir um engajamento coletivo e a compreensão da gestão dos desastres, a partir de abordagens participativas que atinjam o objetivo peditivo e precoce dos sistemas de alertas.

### *2.3.2 Melhoria de solos erodíveis*

Com o aumento da urbanização desordenada em áreas de risco, cresce a possibilidade de deslizamentos, estimulando a necessidade do estudo de alternativas para melhoria do solo erodível. Logo, faz-se necessário buscar métodos que diminuam o impacto ao meio ambiente, otimizando a sustentabilidade, como a incorporação de fibras, com o objetivo de melhorar as características físicas e mecânicas (SANTOS *et al.*, 2021), a fim de viabilizar a permanência dessas moradias nestas áreas (QUARIGUASI *et al.*, 2018; SANTOS; CRISPIM; PAULO, 2018; YARBAŞI; KALKAN, 2020).

Portanto, diversos tratamentos podem ser utilizados para o melhoria deste solo: utilização de fibras, de agregados, substituição de solo, reforço com materiais de drenos ou geossintéticos, entre outros, que variam e devem ser escolhidos de acordo com a necessidade da construção,

(MACEDO, 2013; BRITO; PARANHOS, 2017; SAGRILO *et al.*, 2017; SANTOS; BELLO; SANTOS, 2019).

Os materiais mais utilizados para o melhoramento de solo são os compósitos que são misturas de dois ou mais materiais onde um é a matriz, que é a fase contínua, e o outro é um elemento de reforço. Os reforços podem ser de fibra ou estruturais, sendo as fibras um tipo de material muito utilizado pela construção civil para melhoramento de solo, (SPECHT, 2000; VENTURA, 2009; DIACENO, 2010; SILVEIRA, 2018).

De acordo com Santiago e Botaro (2009) a fibra vem sendo muito viável em quaisquer que seja, o melhoramento de solo, principalmente, em regiões de área de risco, além de ser um material econômico, sustentável e funcional (MORANDINI; SCHNEIDER, 2017; SILVEIRA, 2019).

#### **2.4 Fibras e o uso na engenharia**

Dentre o uso das fibras para reforço e melhoramento do solo, técnica utilizada desde as antigas civilizações, dois tipos são evidenciados: fibras naturais ou artificiais. O seu uso trouxe melhoria significativa na resistência ao cisalhamento, à compressão, aumento da estabilidade e da rigidez. Porém, o tipo de fibra utilizada deve seguir a necessidade do estudo, além de observar diferentes formações de compósitos em busca da melhor adequação da matriz para um resultado satisfatório (LUCARELLI, 2018; NDEPETE; SERT, 2016; YARBAŞI; KALKAN, 2020; ROCHA, 2019).

Em relação às fibras sintéticas, também há uma variedade, principalmente as de polipropileno, polímero e poliéster, variando suas propriedades de acordo com o tipo e material utilizado e sua fabricação (SILVEIRA, 2018). A fibra de polipropileno é importante pois diminui o volume, e a densidade máxima e aumenta a resistência à compressão (HEJAZI *et al.*, 2012; LI; SENETAKIS, 2018).

O poliéster melhora a resistência final, dependendo do percentual de fibra adicionado ao composto e, por fim, os polímeros que são utilizados no intuito de melhorar a resistência à compressão e a ductibilidade do solo (CHEN *et al.*, 2015; LUCARELLI, 2018; GOMES, 2018; FREITAS *et al.*, 2018).

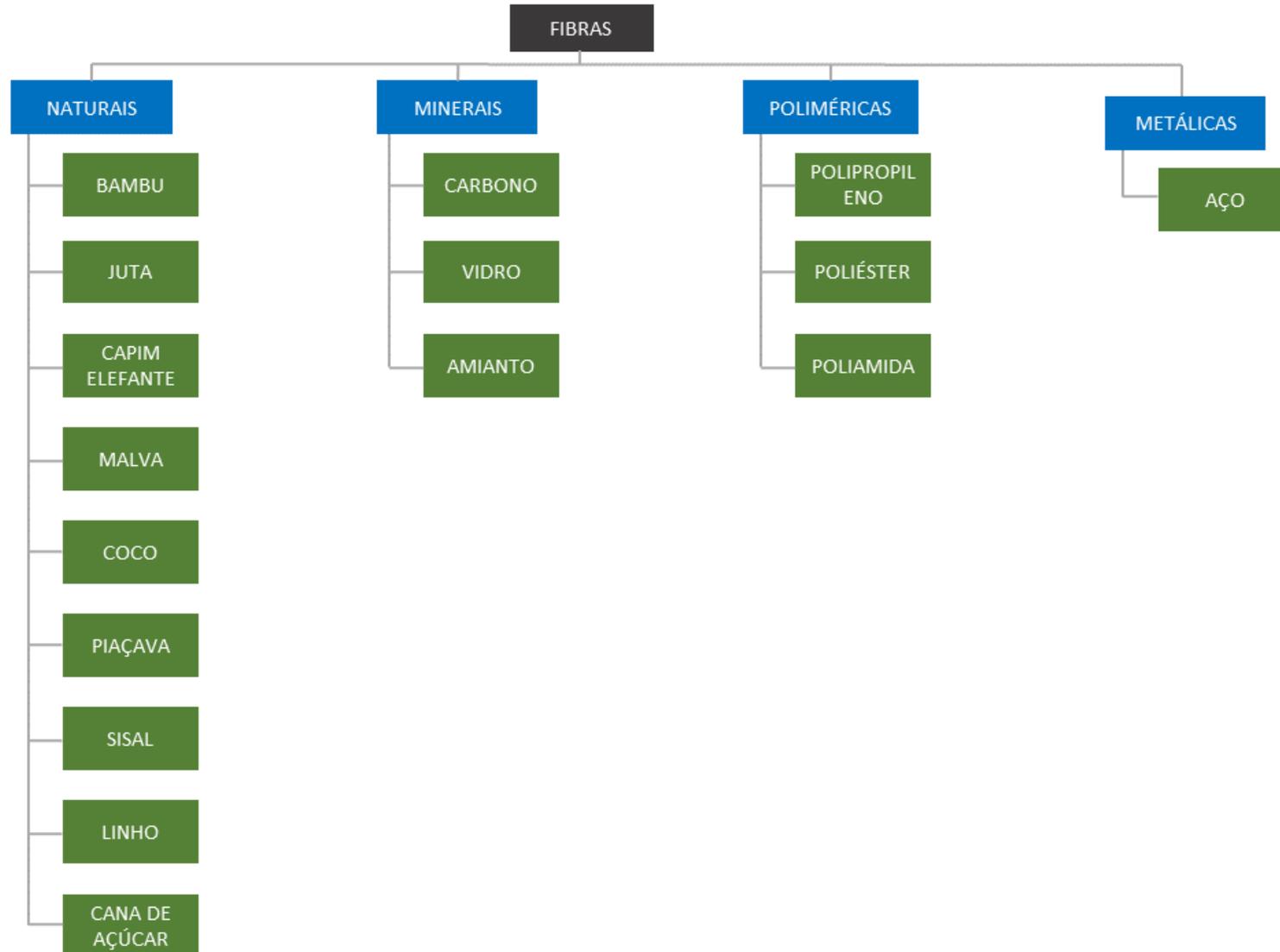
As fibras naturais são obtidas na natureza e podem ser extraídas de caules, folhas, sementes, frutos, madeira, palha de cereais e outros restos de materiais. Por serem naturais, foram as primeiras fibras utilizadas na busca do melhoramento do solo (CARVALHO, 2019; FERREIRA *et al.*, 2017; GOWTHAMAN; NAKASHIMA; KAWASAKI, 2018).

De acordo com Carvalho (2019), nos casos das fibras naturais as especificações variam de acordo com a fibra adotada e o seu auxílio nos compósitos está diretamente ligado ao estilo do seu vegetal, principalmente, ao seu comprimento e sua geometria. A fibra de bambu é uma das fibras naturais que podem ser estudadas e analisadas para o melhoramento de solo.

Logo se conclui, que as fibras são largamente utilizadas na engenharia civil como material alternativo, sendo fundamental o aprofundamento de suas propriedades mecânicas, físicas e químicas dos materiais, assim como suas características, avaliando assim possíveis compósitos para ser objeto de pesquisa (FELDENS *et al.*, 2021).

Na Figura 7 é apresentada a classificação das fibras que são distribuídas em quatro grupos: naturais, poliméricas, minerais e metálicos. No Quadro 3, é apresentado alguns tipos de fibra com características referentes as aplicações, vantagens e desvantagens.

Figura 7- Classificação das fibras



Fonte: Feldens et al., (2021).

Quadro 3- Tipos de fibras

Fibras	Aplicações	Vantagens	Desvantagens	Autores	Imagens
<b>Fibra de polipropileno</b>	Base de fundações superficiais, reforço em solo para pavimentação rodoviária	Grande flexibilidade e tenacidade; elevada resistência ao ataque de várias substâncias química e aos alcális.	Módulo de elasticidade baixo	TAYLOR (1994); CASAGRANDE (2001); LIMA NETO (2016)	
<b>Fibra de Vidro</b>	Base e / ou sub-bases de pavimentos	Baixo coeficiente de dilatação térmica, resistência à tração e a vibração, retenção das propriedades mecânicas a altas temperaturas, grande alongamento na ruptura, facilidade de processamento e baixo custo.	Conhecimento insuficiente das características geotécnicas do vidro reciclado	DISFANI (2011); ARULRAJAH <i>et al.</i> , (2012); PERUZZI (2002).	
<b>Fibras Naturais (coco)</b>	Adição da fibra em concreto não estrutural - uso da fibra em compósitos, adição da fibra em misturas asfálticas, melhoramento de solo	Alternativa sustentável que ajuda a reduzir no impacto ambiental, melhoria das propriedades mecânicas	Baixa resistência quando comparada com demais fibras	FRANÇA, <i>et al.</i> , (2017), SANTOS (2020)	
<b>Fibras de Polietileno Tereftalado (Pet)</b>	Reforço de solos para estruturas de contenção e em camadas estruturais de pavimentos	Alta tenacidade, alto módulo de elasticidade; baixa capacidade de absorção de água.	Não são estáveis nos ambientes com alto PH.	TAYLOR (1994), LUCARRELI (2018)	
<b>Fibra de Bambu</b>	Construção civil, artesanato, produção de papel, estufa, adição da fibra em concreto.	Amplamente usado na construção civil, melhoramento de solos, fabricação de mobiliário, baixo consumo energético.	Limitação de temperatura de processamento, falta de uniformidade de propriedades restrita a planta, natureza hidofílica e algumas espécies possui maior teor de sílica e cálcio restringindo a aplicação.	MARQUES, LUIZ E SILVA (2020), LIMA 2020, FELDENS (2021)	

Fonte: Adaptado de Feldens *et al.* (2021).

## 2.5 Fibra de Bambu

### 2.5.1 Origem e utilização

A origem do bambu, segundo Hidalgo-López (1974), vem do período cretáceo, antes do surgimento do homem. Os bambus são plantas da subfamília *Bambusoideae*, que correspondem a uma das 12 famílias da gramínea denominada de *Poaceae*.

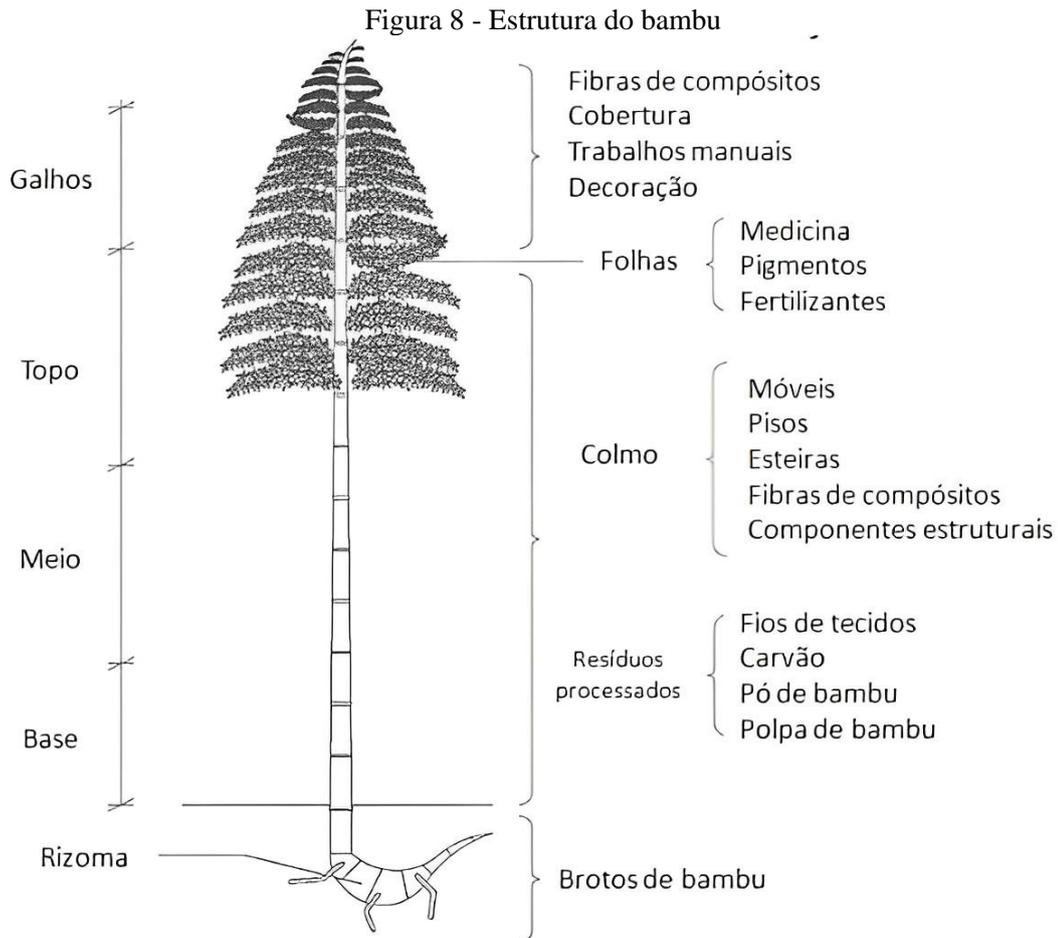
O Brasil tem a maior diversidade das espécies, destacando os principais centros da Floresta Amazônica e da Mata Atlântica, ocorrendo também algumas espécies no Cerrado, campos de altitude e em terrenos rochosos, possuindo propriedades mecânicas relevantes, que podem também ser exploradas pela engenharia (LIMA *et al.*, 2020).

Segundo Correal (2020), há mais de 200 espécies diferentes de bambu catalogadas no Brasil, mas nem todas elas são empregadas com função estrutural, sendo as mais versáteis e aplicáveis à construção civil as seguintes: *Arundanaria*, *Bambusa*, *Cephalostachyum*, *Dendrocalamus*, *Gigantochloa*, *Melocanna*, *Phyllostachys*, *Schizostachyum*, *Guadua* e *Chusquea*.

Nos estados de Pernambuco e Paraíba são registrados 15 mil hectares de bambu, além de alguns hectares de Floresta na região do Acre, chegando a ocupar 20% do território da Amazônia, totalizando no Brasil cerca de 22 mil hectares de cultivo de Bambu (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

As fibras naturais vêm sendo largamente estudadas, para utilização como reforço renovável em compósitos poliméricos, pois apresentam as vantagens da abundância, custo baixo, baixa densidade, fácil manuseio, biodegradabilidade e sustentabilidade. Segundo Song *et al.* (2021) e Mi, Chen e Guo (1997), o bambu pode alcançar uma altura de aproximadamente 30 metros em cerca de 6 meses, estando pronto para uso no período de 3 a 4 anos e raízes vastas (Figura 8).

A fibra vegetal de bambu (*Dendrocalamus strictus*) é uma alternativa para este fim, por se tratar de um material ecológico, de alta resistência e tenacidade e os materiais que contém fibras de bambu, geralmente, possuem boa resistência, rigidez e força.



Fonte: Correal (2020).

### 2.5.2 Propriedades do Bambu

O bambu é um material que possui propriedades mecânicas relevantes, podendo ser estudada pela engenharia, pois as paredes da planta apresentam resistência à tração e à compressão. Segundo Janssen (2000), suas propriedades estruturais são comprovadas pelas relações resistência/massa específica e rigidez/massa específica, sendo superiores à madeira, concreto e comparadas ao aço.

De acordo com Nogueira *et al.* (2021), com o intuito de melhoria das propriedades mecânicas de compósitos poliméricos foram estudados três traços para o concreto convencional com substituição de 1% e 2% de fibras de bambu, sendo realizados ensaios de controles tecnológicos em relação às resistências à compressão uniaxial e à tração nos 7, 14 e 28 dias de cura do concreto (Tabela 2). Esta análise resultou no aumento na resistência à tração em todos os dias em referência de realização dos testes, mas houve pouca diferença em relação à resistência à compressão com base nos traços de concreto convencional, (RIBEIRO *et al.*, 2021).

Tabela 2- Caracterização física e química da fibra de Bambu

CONSTITUINTES QUÍMICOS	VALORES
Umidade básica (%)	8,20
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,16
Extrativos (%)	23,25
Lignina (%)	18,01
Cinzas (%)	0,22
Holocelulose (%)	28,52

Fonte: Gomes *et al.*, (2021).

A lignina, celulose, hemicelulose estão aderidas nas fibras naturais com função específica para cada um deles. Enquanto a lignina tem função de resistência, os outros itens funcionam para a rigidez (GOWTHAMAN; NAKASHIMA; KAWASAKI, 2018).

Assim, a presença elevada de lignina pode dificultar a biodegradação natural, conseqüentemente, para o melhoramento do solo, que possui organismos vivos naturais, é importante manter elevado o índice de lignina para garantir uma melhor resistência, (SANTOS, 2019).

### 2.5.3 *Uso do Bambu*

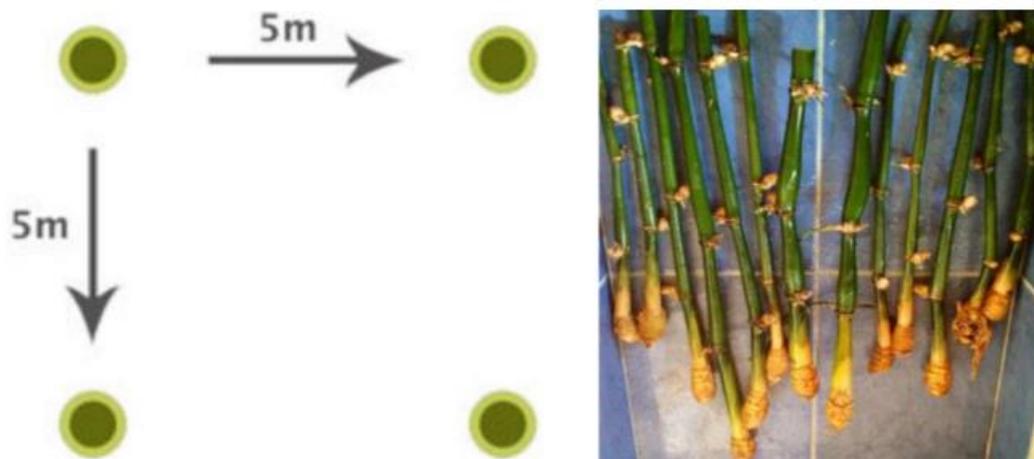
Com o objetivo de conservação do meio ambiente, controle de erosão e do assoreamento de cursos d'água, o bambu possui muitos benefícios ambientais, além dos econômicos como a sua comercialização, fabricação de artesanato e outros fins ligados à engenharia e à construção civil, (LIMA *et al.*, 2014).

Em dezembro de 2020, entraram em vigor as normas técnicas para utilização do bambu na Construção civil. A NBR 16.828-1 (ABNT,2020) que aborda a estrutura do bambu e a NBR 16828-2 (ABNT,2020) que trata dos testes para determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu. A norma em questão determina valores para os testes que podem determinar a relação entre as características mecânicas e elementos específicos, tais como: teor de umidade, massa volumétrica, localização, presença de nós e entrenós etc.

Segundo Cavalcanti e Ferreira (2021), o clima no Brasil é apropriado para o cultivo do bambu, que possui pouco impacto ambiental e pode contribuir para restaurar locais degradados,

estabilidade de solos, conter erosão, e pode influenciar de forma positiva os efeitos hidrológicos de falta de água, que assola o país. Para isso, importante realizar o plantio adequado do bambu (Figura 9), que varia conforme a espécie, mas deve obedecer a um espaçamento entre 2,5 a 10m entre mudas.

Figura 9- Espaçamento de plantio e mudas do bambu.



Fonte: Ferreira (2021).

O corte do bambu para sua utilização deve ser feito próximo ao primeiro ou segundo nó (Figura 10), observando com cautela para não criar vasos para acumular água, pois gera apodrecimento dos rizomas e atinge a saúde da moita.

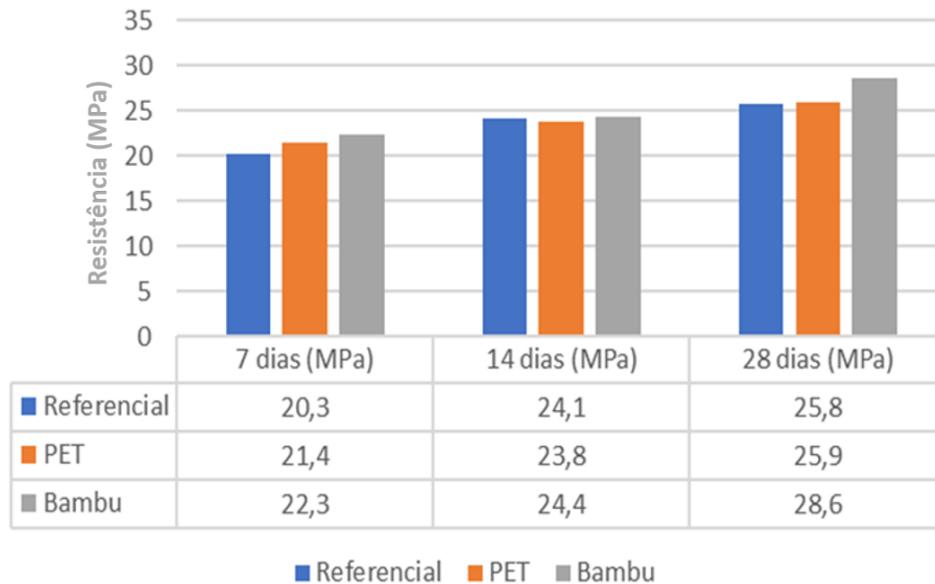
Figura 10 - Corte correto e incorreto do bambu.



Fonte: Ferreira (2021).

Estudos realizados por Lima *et al*, (2020) verificou a eficácia da fibra de bambu em relação a outros tipos de fibra, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Resultados da resistência à compressão axial.



Fonte: Lima *et al.*, (2019).

Diante dos resultados, foram avaliadas três misturas aos 7, 14 e 28 dias e observou-se que os compósitos dos quais continham fibras de bambu em sua matriz comportaram-se de forma mais eficaz, mostrando em 1 (um) mês de análise, resistência à compressão axial de 28,6 MPa, ou seja, 10% maior quando comparados com as misturas de referência.

No que diz respeito as misturas contendo PET em sua matriz, sabe-se que as mesmas não foram tão eficazes, pois aos 28 dias de análise apresentaram 25,9 MPa, ou seja, 10,5% menor frente aos resultados da resistência a compressão axial dos compósitos contendo fibras de bambu em sua matriz.

Vale salientar, que em todas as idades, as amostras obtiveram resultados superiores a 20MPa, que é o mínimo exigido pela NBR 6118 (ABNT, 2014) para concreto estrutural. A melhoria das propriedades mecânicas dos compósitos utilizando fibras de bambu, dar-se-á devido a diminuição da retração e das vibrações mecânicas que, por sua vez, melhora a tenacidade e a ductilidade, considerando o material alternativo um potencial para uso na construção civil (LIMA *et al.*, 2020).

#### ***2.5.4 Conscientização Ambiental***

A questão ambiental vem sendo pauta mundial e a demanda de educação voltada para este tema é subsidiada por leis voltadas à proteção do meio ambiente e regulamentação de seus sistemas, a exemplo da Agenda 2030, para o desenvolvimento sustentável e seus objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS). Esta agenda funciona como educação ambiental, passando a ser praticada no contexto Escolar por meio de projetos (MIRANDA *et al.*, 2021).

Uma das metas da Agenda 2030 é reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, melhorando os índices de qualidade do ar e a gestão de resíduos sólidos, garantindo que todas as cidades acima de 500 mil habitantes tenham implementado sistemas de monitoramento de qualidade do ar e planos de gerenciamento de resíduos sólidos. Logo, os ODS 11 e 12, objetivam a implementação de cidades e comunidades sustentáveis, consumo e produção responsáveis (IPEA, 2018).

Em relação a gestão de resíduos sólidos, o descarte irregular ocasiona incômodo a população, gerando poluição da paisagem, assoreamento da rede de drenagem urbana, (DEUS; BATTISTELLE; SILVA; 2015). Esses problemas ambientais são consequência, em parte, da falta de políticas públicas e da educação ambiental voltada para o descarte sustentável (SANTOS *et al.*, 2018).

O crescimento urbano desordenado e as ações antrópicas em áreas vulneráveis têm consequência sociais, econômicas e ambientais, que alertam o poder público para gestão de risco, no entanto, observou-se a necessidade de medidas de prevenção e de conscientização ambiental de forma a evitar situações de novos desastres, na maioria das vezes pela supressão vegetal de forma não planejada (ARAÚJO, 2019).

Segundo Teles *et al.*, (2022), a importância da cobertura vegetal não altera apenas a paisagem da bacia hidrográfica, mas atua na redução das gotas cinéticas da chuva, assim como aumentando a taxa de infiltração, contribuindo assim para o assoreamento e aceleração dos processos erosivos, isso tudo em virtude da expansão das ações antrópicas. Logo, atesta a necessidade da prática de políticas públicas de caráter ambiental, para equilíbrio dos impactos ambientais negativos.

As ações antrópicas vêm causando desequilíbrio no espaço urbano, resultando em novos formatos de uso e ocupação do solo incompatíveis com a capacidade de suporte dos sistemas ambientais, assim as ações de conscientização ambiental promovem a mitigação de riscos associado ao monitoramento e a fiscalização das ações pelos órgãos (BEZERRA; FARIAS; GOMES, 2021).

A conscientização ambiental é algo desafiador para os gestores públicos das cidades, no entanto, tem que ser priorizada com a cooperação de todos, governantes e cidadãos através da integração de políticas públicas que promovam a participação em ações socioambientais, que propaguem informações sobre a coleta pública de resíduos domésticos, coleta seletiva e seus locais oficiais de recebimento dos resíduos, a fim de erradicar o descarte irregular, trazendo mais saúde e bem estar para população, sobretudo as residentes em áreas de interesse social.

As ações de conscientização ambiental podem ser compreendidas como uma necessidade metodológica a ser explorada na cidade, a fim da população participar do processo de ensino aprendizagem e serem multiplicadores desse conhecimento, buscando garantir comportamentos apropriados em situações adversas, resultando em ações mais seguras e de que busquem mais equilíbrio ao meio ambiente. Mas, para que haja a mudança deve ser traçada uma estratégia para implementar programas capazes de incentivar a ocorrência de atividades de educação ambiental, assim como de sustentabilidade visando diminuir qualquer impacto ambiental (ROOS; BECKER, 2012).

Nos últimos 3 anos ocorreram nas áreas de risco do Recife-PE trabalhos de conscientização ambiental de forma transversal. Logo, em Recife vem sendo realizadas ações de práticas seguras nas áreas de risco, com distribuição de cartilhas educativas (Figura 12,13 e 14), a fim de evitar ou minimizar os acidentes geológicos, sensibilizar os moradores, tornando-os responsáveis pela autodefesa, para serem mais resilientes, vivendo com mais segurança e qualidade de vida (SEDEC, 2023).

Figura 12 - Cartilha de Práticas seguras nos morros.

### Que práticas seguras devem ser adotadas nas áreas de morro?

- Em caso de chuva intensa e alerta emitido pela Defesa Civil, saia do imóvel, evacue a área de risco e procure local seguro, como casa de parentes/vizinhos/amigos ou o abrigo indicado pela Prefeitura da Cidade do Recife.
- Rebaixe o capim, plante grama e fruteiras de pequeno porte (pinha, acerola, carambola, pitanga), plantas medicinais (hortelã, cidreira, boldo) e de jardim (jasmim, rosa, leucena), porque as raízes ajudam a segurar o aterro.
- Conserte vazamentos e não deixe que as águas escurram pela barreira.
- Construa em locais seguros, afastados do topo e da beira da barreira, de forma a não impedir o caminho natural da água, inclusive da chuva.
- Canalice a água da sua casa para sistemas de esgotamento e coleta adequados e as águas de chuva para a rede de drenagem mais próxima.



**CENTRAL DE ATENDIMENTO 24H E GRATUITO 0800 081 3400**

### Que sinais de perigo devem ser observados nas áreas de morro?

- Postes e árvores com grande inclinação, além de rachaduras, fissuras, abatimento ou grandes infiltrações nos muros, escadarias, paredes e piso da casa.
- Deslizamentos constantes, mesmo que em pequenas quantidades.
- Vazamentos constantes da rede de água.



### Como se proteger de alagamentos nas áreas planas?

- Em caso de chuva intensa e alerta emitido pela Defesa Civil, saia do imóvel, evacue a área de risco e procure local seguro, como casa de parentes/vizinhos/amigos ou o abrigo indicado pela Prefeitura da Cidade do Recife.
- Ao sinal de chuva, eleve os móveis e pertences, para evitar danos materiais.
- Coloque documentos e objetos de valor em sacos plásticos bem fechados e em local protegido, além de fechar os registros de entrada d'água e gás.

**CENTRAL DE ATENDIMENTO 24H E GRATUITO 0800 081 3400**

Fonte: SEDEC (2023).

Figura 13 - Cartilha de educação ambiental

- Retire da área afetada as crianças e não deixe que elas brinquem na enxurrada ou nas águas dos córregos para evitar que sejam levadas pela correnteza ou contraiam doenças como hepatite e leptospirose.
- Durante uma inundação, não feche as passagens, becos e ruas com móveis e objetos tirados da casa. Deixe sempre o espaço livre para que as pessoas possam sair do local atingido.
- Apenas retorne para casa quando a água baixar e o caminho estiver seguro e só consuma alimentos e bebidas de procedência segura.



### ATENÇÃO

#### Como cuidar do lixo?

- Coloque o lixo em depósitos posicionados em local de fácil acesso para os coletores.
- Não jogue o lixo em canais e canaletas, pois isso impede a passagem da água e atrai ratos, baratos e insetos que transmitem doenças.
- Não jogue móveis e eletrodomésticos inutilizados em cursos d'água e barreiras. Eles devem ser descartados em locais adequados.



### Que práticas seguras devem ser adotadas nas áreas planas?

- Em caso de chuva intensa e também de maré alta, procurar local seguro e ligar imediatamente para a Defesa Civil, através do telefone 0800 081 3400. A ligação é gratuita e pode ser feita a qualquer hora.
- Não construa próximo a córregos, canais, rios e cursos d'água, pois podem inundar.



**CENTRAL DE ATENDIMENTO 24H E GRATUITO 0800 081 3400**

### Evite o risco!

É importante que cada um contribua para a conservação das obras de proteção de encostas, drenagem e acesso realizadas pelo poder público, como muros, escadarias, canais e canaletas. Todas as pessoas são responsáveis pelo lugar onde moram. Por isso, faça sua parte!

#### Fique atento!

Se sua casa está em área de risco, não espere que o pior aconteça. Quando começar a chover, retire sua família e procure local seguro. Prevenir é salvar vida!

#### Participe!

A segurança nos morros depende dos cuidados que os moradores têm com o lugar onde vivem. Vamos participar da Defesa Civil da nossa cidade!

#### A Defesa Civil somos todos nós.

Você pode e deve ajudar na prevenção, preparação e resposta a desastres. A proteção civil só se constrói com a participação da população, principalmente das pessoas que moram em áreas de risco. Você também faz parte da Defesa Civil!

**CENTRAL DE ATENDIMENTO 24H E GRATUITO 0800 081 3400**

Fonte: SEDEC (2023).

Figura 14 - Panfleto de educação ambiental.

**BORA FAZER O CERTO?**  
Contribua com uma cidade mais limpa!

Tipo de resíduos	O que fazer
<b>Comum</b>	Coleta porta-a-porta
<b>Recicláveis</b> papel, papelão, plástico, vidro e metal	WhatsApp Prefeitura, Coleta Recife, 156, Ecoestação, PEV
<b>Construção civil</b> entulho	Ecoestação
<b>Podas</b> galhos, folhas	WhatsApp Prefeitura, Coleta Recife, 156, Ecoestação
<b>Volúmosos</b> móveis	WhatsApp Prefeitura, Coleta Recife, 156, Ecoestação

**RECIFE LIMPA+**

**VAMOS JUNTOS REDUZIR, REUTILIZAR, RECICLAR E FAZER DO RECIFE UMA CIDADE SUSTENTÁVEL**

Faça parte da coleta seletiva: **LIGUE 156**

RECIFE LIMPA+ EMLURB RECIFE PREFEITURA

Fonte: EMLURB (2022).

Também são executadas ações mais ampliadas, conseguindo implantar a conscientização ambiental em áreas mais complexas, no qual tenta promover a partir do desenvolvimento sustentável, o protagonismo comunitário e a promoção de um espaço urbano melhor para as crianças (Figura 15).

Figura 15 - Antes (a) e após (b) da Intervenção – Recife/PE



Fonte: SEIURB (2020).

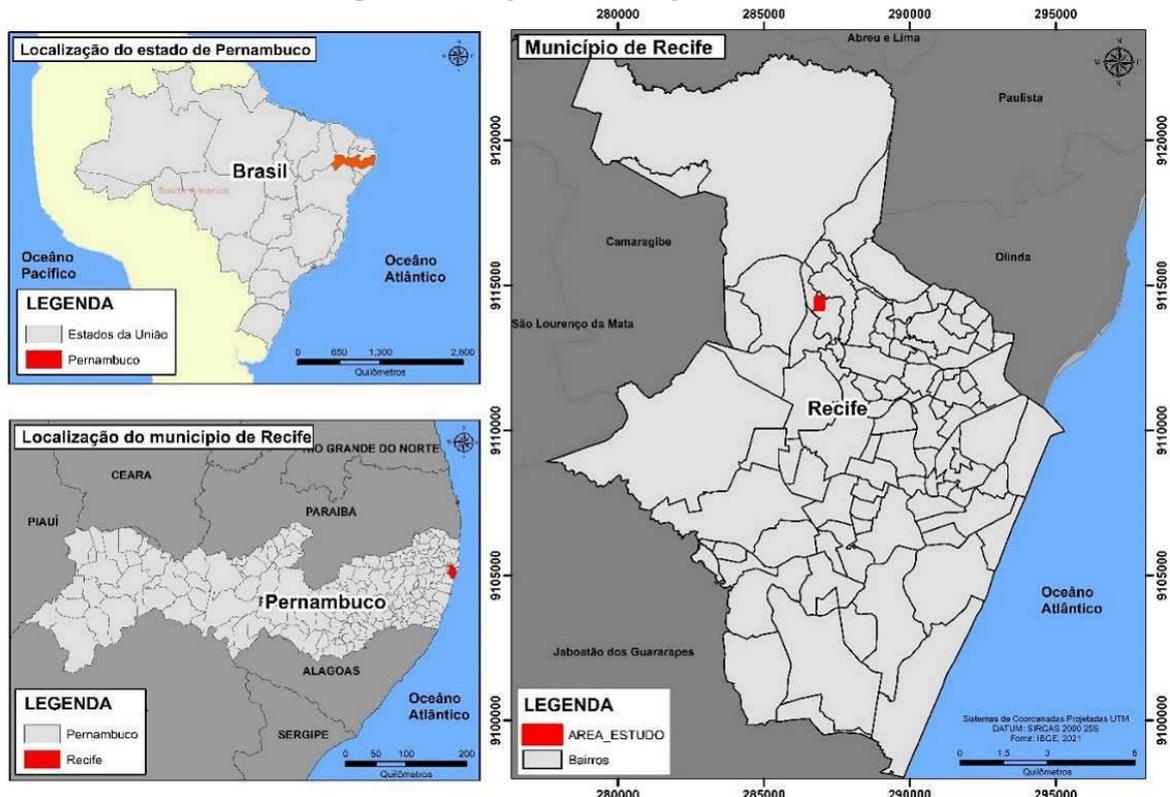
### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Neste capítulo foram abordados alguns aspectos essenciais para o entendimento do contexto social e geográfico que a área de estudo está localizada. Dentre essas características, podem ser citadas o relevo, o clima, a vegetação predominante, precipitação de chuvas, questões socioeconômicas e políticas.

#### 3.1 Localização

Á área de estudo está localizada nas coordenadas: 8°00'26.2" S e 34° 55'59.4" W, e está inserida no bairro da Macaxeira, na zona norte do Recife, capital do Estado de Pernambuco (Figura 16) e considerada como a sede da Região Metropolitana do Recife (PREFEITURA DO RECIFE, 2021).

Figura 16 - Mapa de localização do Recife



Fonte: Autora.

O município de Recife possui cerca de 1.661.017 pessoas em 218,843 Km<sup>2</sup> de extensão (IBGE, 2021), e está dividida em 2 macrozonas de acordo com seu aspecto físico e social, a Macrozona de Ambiente Construído – MAC e a Macrozona de ambiente Natural e Cultural. Ainda nessa

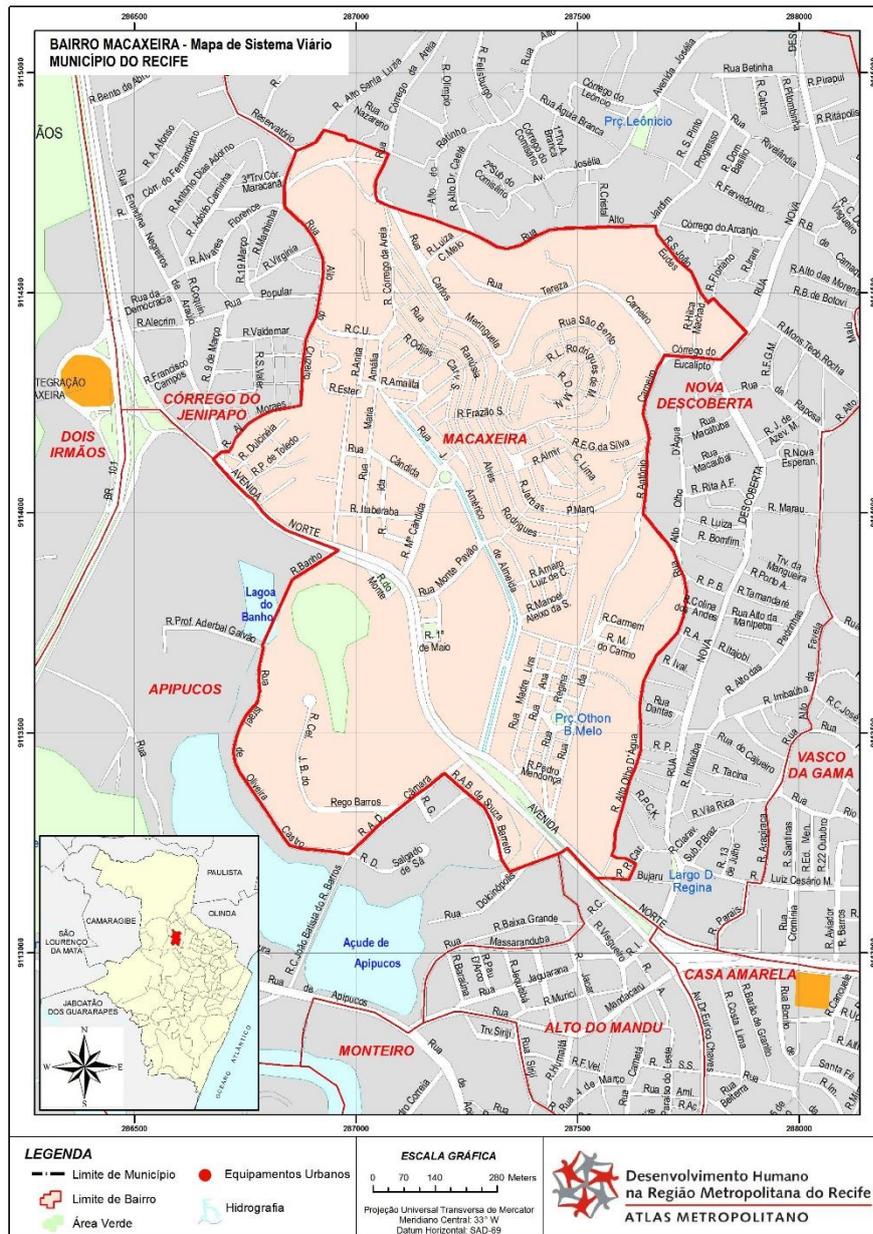
divisão, a cidade é subdividida em zonas especiais como os Imóveis Especiais de Preservação – IEP, as Zonas Especiais de Centralidades, as Zonas Especiais de Patrimônio Histórico-Cultural – ZEPH, e as Zonas Especiais e Interesse Social – ZEIS (RECIFE, 2021).

O bairro da Macaxeira possui cerca de 20.313 habitantes em 1,25 Km<sup>2</sup> de área (IBGE, 2021). Essa região se encontra na Região Político Administrativa-RPA 3, em que é caracterizada pelo seu relevo altamente desregulado em sua extensão. Quanto à relação das pessoas com os morros, percebe-se que a área possui uma alta densidade populacional em que os habitantes constroem suas residências em cima de encostas, muitas vezes, sem qualquer tratamento de contenção, (SANTANA, *et al.* 2019).

Por estar inserido na Zona Especial de Interesse social (ZEIS) de acordo com a Lei de Uso e ocupação do solo n. 18.770 de 29 de dezembro de 2020, sua densidade demográfica é considerável, chegando a 162, 25 habitantes/hectares. Outro dado relevante, é o número de domicílios que chega em 5.807 com uma média de 4 habitantes por residência e com cerca de 46% de mulheres responsáveis pela renda familiar (PREFEITURA DO RECIFE, 2021).

Conforme a Figura 17, a área está limitada com outros bairros que também possuem pontos de risco, como Córrego Jenipapo, Nova Descoberta, Alto do Mandu, Vasco da Gama. O bairro da Macaxeira tem uma ligação forte com a Fábrica de Tecidos Apipucos criada em 1985, na qual com a modernização e o crescimento do empreendimento, foram construídas, entre 1930 e 1940, duas vilas operárias; a Vila Maria Amália e Vila Buriti, sendo o primeiro evento de urbanização do bairro. Em 1992, a Fábrica de Tecidos Apipucos foi desativada, sendo substituída pelo Parque Urbano da Macaxeira e uma Escola técnica Estadual (SANTANA *et al.*, 2019).

Figura 17 - Mapa de sistema viário bairro da Macaxeira



Fonte: CONDEPE/FIDEM (2010).

A área em estudo, contempla um talude com cerca de 8m de altura (Figura 18a), classificado com o grau de risco 2 (risco médio) pelo Plano Municipal de Redução de Risco de 2006. A Figura 18 a e b ilustra outros taludes em condições semelhantes, assim como o adensamento urbano da área com moradias no topo e próximo à base (PMRR, 2006).

Figura 18 - Talude em estudo (a) e área em estudo (b)



Fonte: A Autora.

Esse contexto urbano é frequente nas áreas de morro da cidade. Diversas comunidades se alojam em barreiras sem qualquer cuidado estrutural e se formam aglomerados de diferentes famílias em que a tendência é aumentar exponencialmente até não dispor de mais espaços para construções irregulares. Como consequência, há acidentes envolvendo deslizamentos de terras nesses muros de contenção, que terminam com fatalidades.

Diante dessa situação, Recife criou o programa Parceria nos Morros visando o tratamento de infraestruturas através da mão-de-obra dos moradores beneficiados, no qual o órgão fornece os materiais, o projeto e o acompanhamento técnico-social durante todo o processo das obras. (PREFEITURA DO RECIFE, 2021).

### 3.2 Características socioeconômicas

A estrutura econômica da capital se caracteriza pelo seu destaque no setor terciário, sendo considerado como o principal centro urbano de Pernambuco. Dentre esses serviços, tem-se o desenvolvimento de inovação e tecnologia como um dos que mais crescem na região, sendo o

Recife um ponto de exportação de ideias, pessoas e mercadorias em que mais se destaca através do Porto Digital, levando a cidade para o ranking dos 156 melhores destinos do mundo para investidores (DIÁRIO DE PERNAMBUCO, 2021).

Porém, ao se tratar da qualidade de vida dos moradores, percebe-se uma disparidade entre a desigualdade de renda. Em 2019, o Recife foi considerado a pior capital em desigualdade, onde cerca de 115 mil pessoas viviam abaixo da linha de extrema pobreza, segundo o boletim do Observatório das Metrôpoles de 2021 (SALATA; RIBEIRO, 2022).

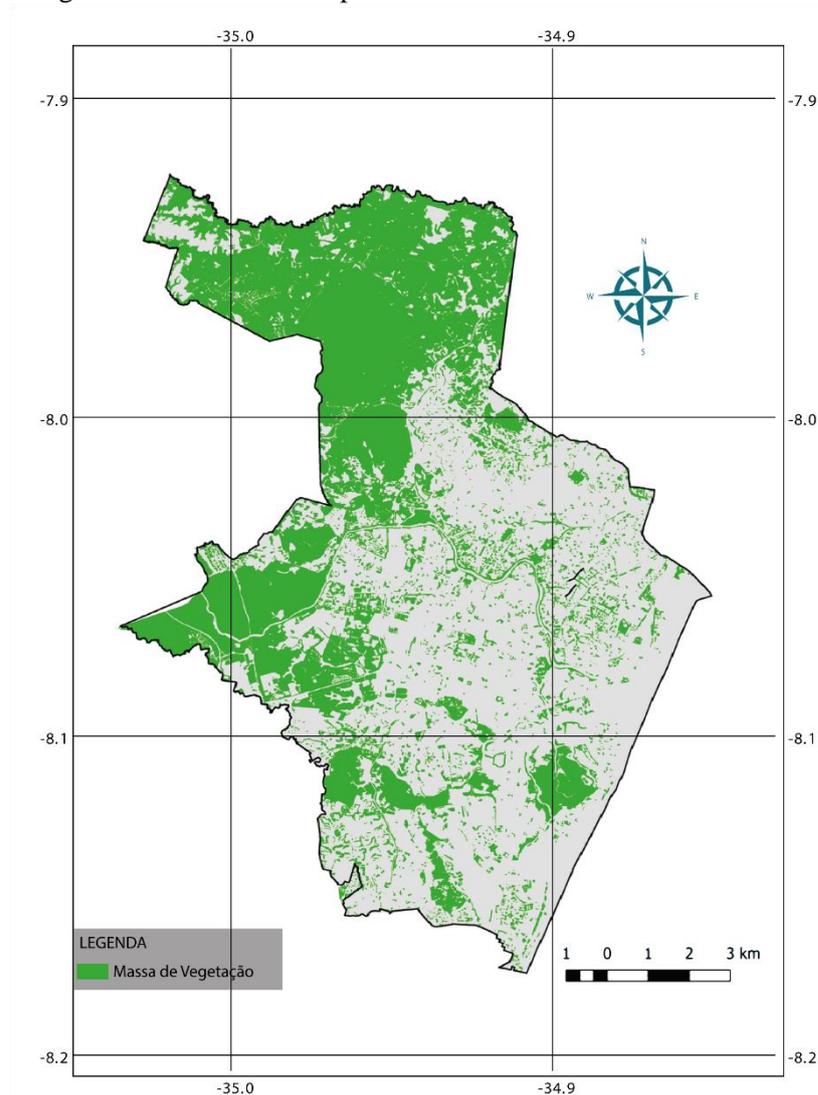
### **3.3 Características fisiográficas**

#### ***3.3.1 Vegetação***

A vegetação predominante no Recife é a de Mata Atlântica. Ainda com a urbanização e adensamento populacional da cidade, percebe-se os vestígios de mata, como o que se localiza no Jardim Botânico do Recife, no bairro do Curado, que possui cerca de 11,23 hectares de área verde protegida (JARDIM BOTÂNICO DO RECIFE, 2020). Uma das principais características dessa vegetação é a sua diversidade de formações vegetais de acordo com o seu clima, tanto que foi analisado que cerca de 1 a 8% da diversidade de espécies no mundo se encontram na Mata Atlântica (LEAL; CÂMARA, 2005).

Esse tipo de vegetação possui como característica o bioma Manguezal, que é predominantemente observado nas proximidades dos rios que cortam a capital. É no Recife que é identificado o parque dos manguezais, no bairro do Pina, com 320 hectares de área protegida pelo município, Estado e a Marinha do Brasil. Na Figura 19, observa-se trechos de massa verde que ainda são vistas dentro dos centros urbanos do Recife e são conservados através do plano diretor do município através das unidades de conservação.

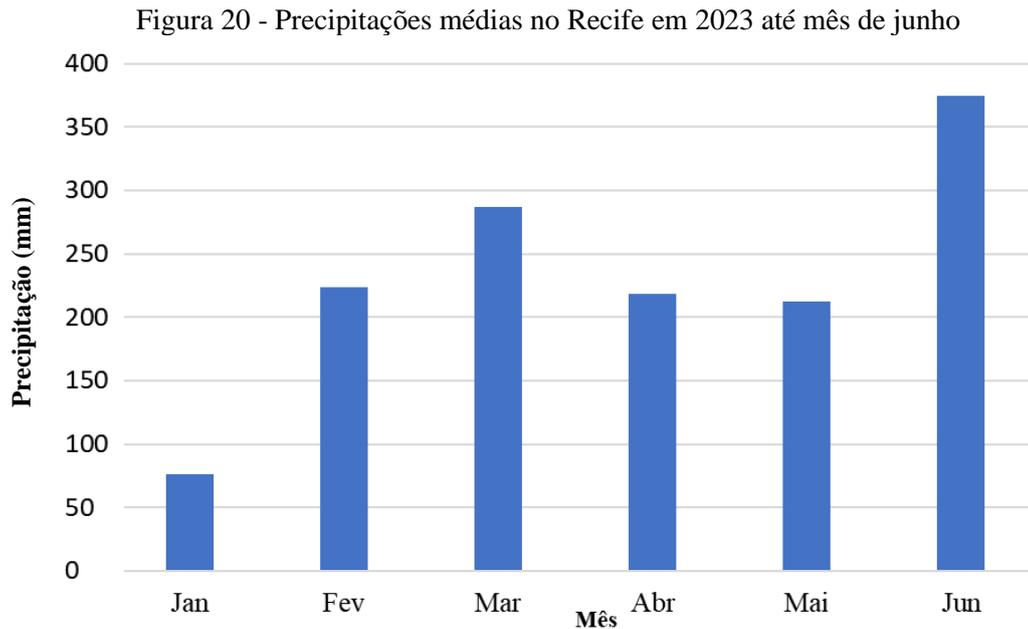
Figura 19 - Massas verde presente nos centros urbanos do Recife



Fonte: Adaptado Prefeitura do Recife (2021).

### 3.3.2 Clima

O clima da capital pernambucana é o quente úmido, com as estações do ano pouco definidas. A média da temperatura fica em torno de 30° C, com incidências de chuva predominantes nos meses de abril a julho, chegando a ter precipitações anuais de 2.307,50 mm, onde esses meses juntos somam cerca de 60% da precipitação anual (FERREIRA, 2016). Na Figura 20, observa-se a precipitação em 2022 na estação do ano que possui maiores quantidades de dias chuvosos, que é no inverno.



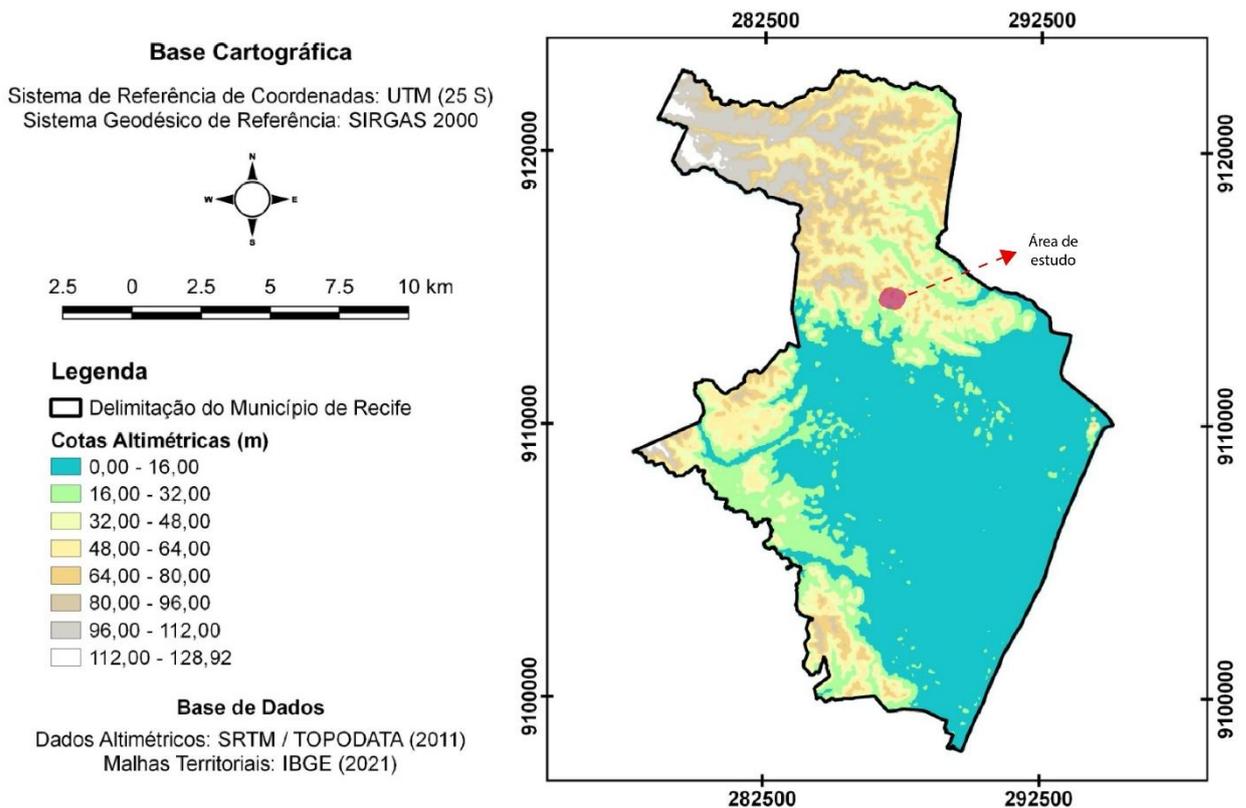
Fonte: Elaborado pela autora com dados da APAC (2023).

### 3.3.3 Relevô

Não há uma característica predominante de relevô no município, porém, percebe-se que em seu lado leste, próximo do limite com o oceano Atlântico, as altitudes chegam a ser entre 2 e 12 metros, mas quando vai se aproximando do lado oeste, em sua divisão com Camaragibe, as altitudes aumentam e variam até os 128 metros. A área de estudo, possui uma variação entre 32 e 48 metros de altimetria, como destacado na Figura 21.

Na região costeira, em regiões cortadas pelos rios, observa-se a formação de ilhas e alagados que compõem o manguezal. Já na zona oeste, percebe-se o aumento da altitude de terras onduladas que formam os morros da cidade. Próximas a essas planícies são vistas as matas que, inclusive, constituem um dos maiores vestígios de Mata Atlântica do Recife, o atual Jardim Botânico.

Figura 21 - Mapa hipsométrico do Recife com área de estudo em destaque



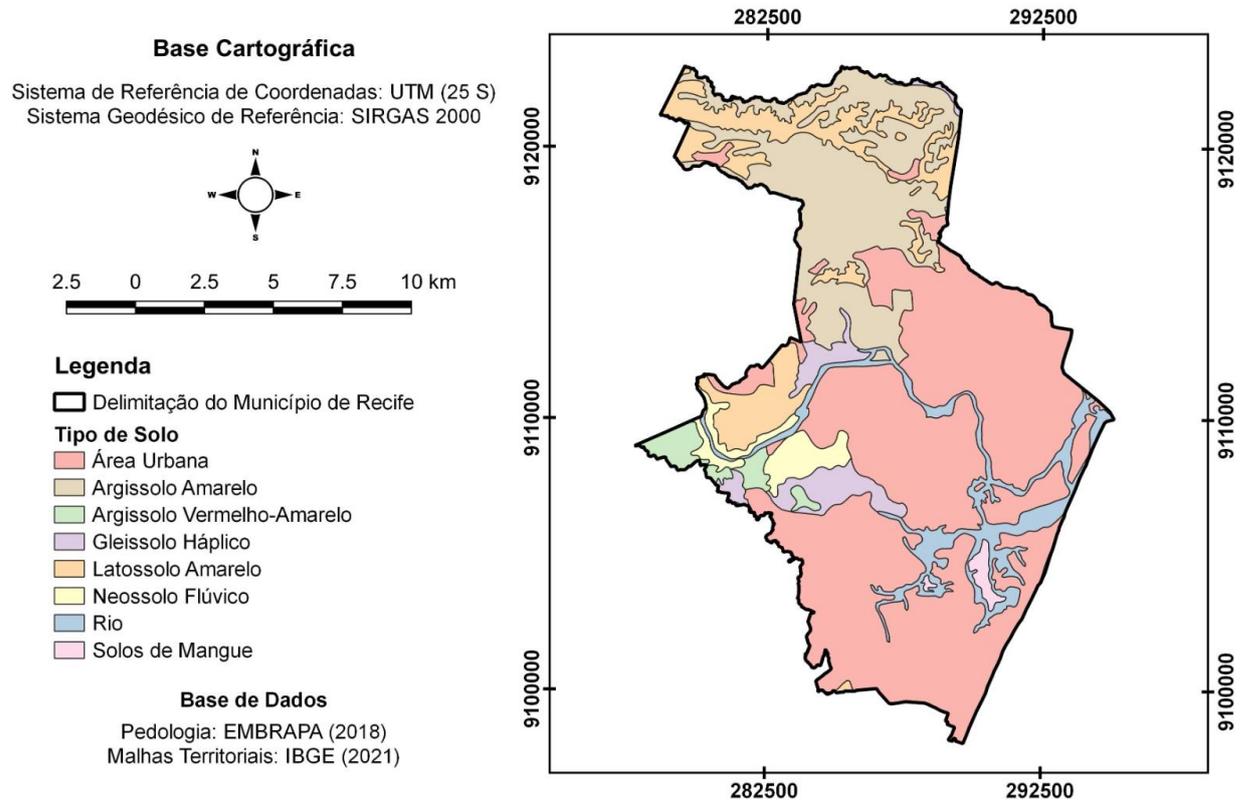
Fonte: SRTM/ TOPODATA (2011).

### 3.3.3.1 Geologia

O solo do Recife possui como predominância a característica areno-argilosa devido às suas características de formação do embasamento cristalino, além da areia acumulada dos corpos d'água que possuem características argilosas, como os beberibes (VERDE; SANTOS, 2019).

Na Figura 22, verifica-se que a cidade do Recife possui predominância de áreas urbana, seguido pelo argissolo amarelo, caracterizados pelo período meso-cenozóico de bacias sedimentares como a bacia Paraíba e a bacia Pernambuco, (CPRM, 2003). Diante dessa característica, percebe-se a presença de variadas formações geológicas.

Figura 22 - Mapa pedológico do Recife



Fonte: EMBRAPA (2018); IBGE (2021).

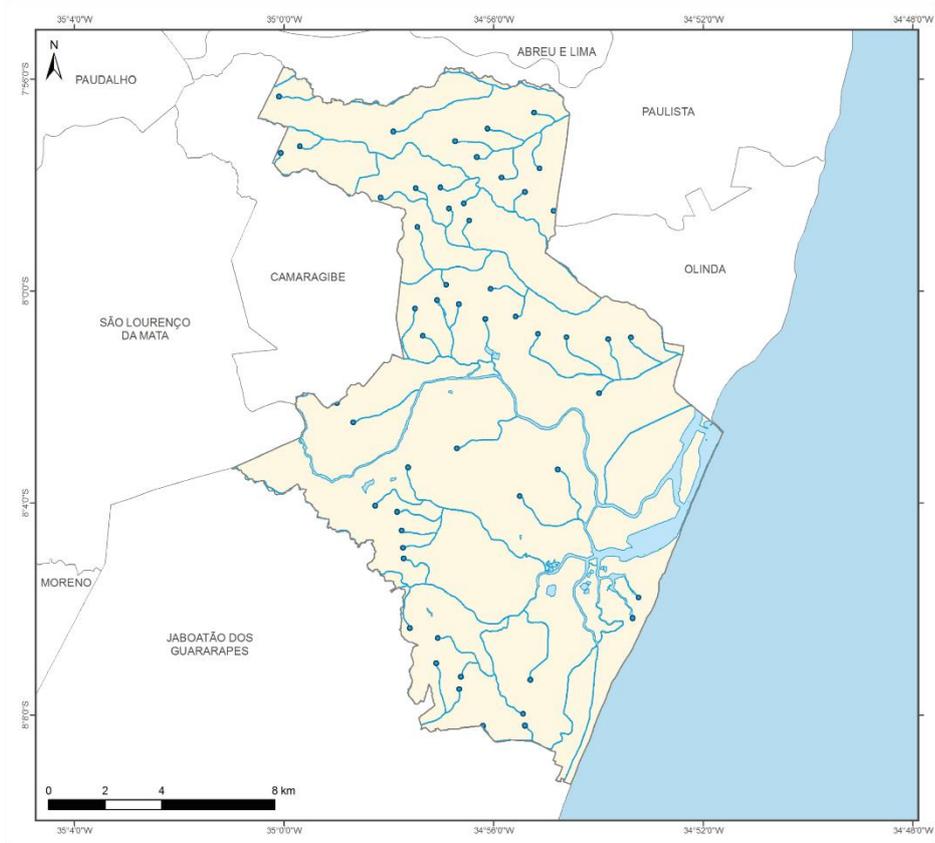
Verifica-se que o desenvolvimento urbano alterou uma grande parcela do solo natural. Porém, ainda pode ser visto uma pequena massa de solos de Mangue, ricos em elementos orgânicos; os gleissolos, mais observados em áreas encharcadas de várzea, na região sudoeste da cidade; os regossolos, que são terras com pouco material orgânico e pouco consolidadas, além dos latossolos que são observados nas encostas (EMBRAPA, 2001).

### 3.3.3.2 Hidrografia

O município do Recife é cortado pelos rios Capibaribe, Beberibe, Tejipió, Jordão e Tapacurá. Esses corpos d'água cortam a cidade em diversos pontos, onde através deles que o desenvolvimento urbano e o crescimento populacional tiveram seu início desde a era das capitanias hereditárias.

A Figura 23, percebe-se que os rios situados nos limites da cidade formam pequenas ilhas no território, como o bairro do Recife e a Ilha de Deus. Ademais, esses mesmos rios formam corpos d'água menores que cortam outras partes mais adensadas da cidade, mas sua predominância de dimensão fica próxima ao escoamento no oceano Atlântico.

Figura 23 - Mapa do sistema hidrográfico do Recife



**Legenda**

- Limite Municipal
- Nascentes
- Rios (até 10m de largura)
- Rios (> 10m de largura) e Massas d'água

Fonte: Adaptado de FBDS (2021).

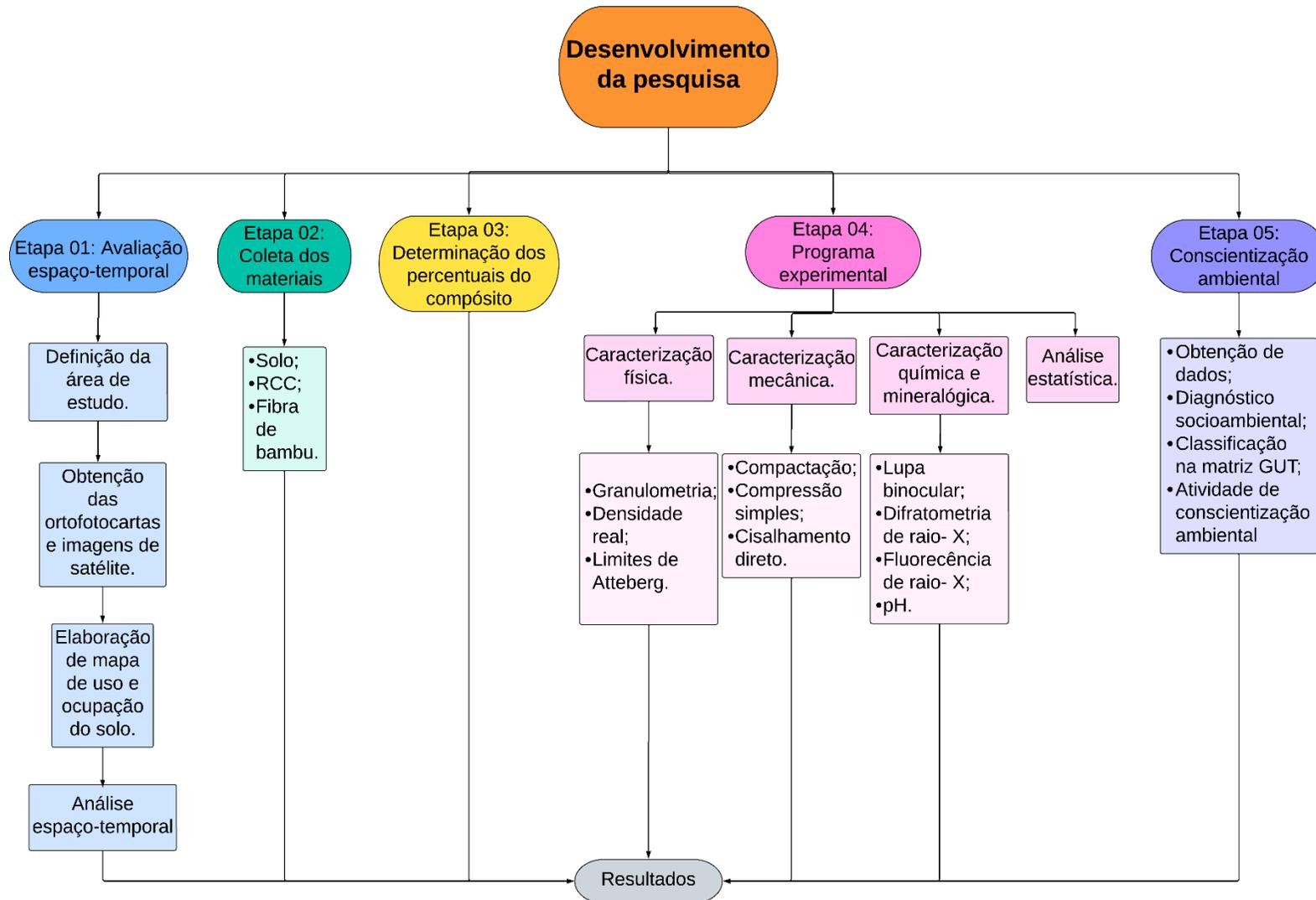
#### **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

Este capítulo é composto pelos materiais e métodos usados na pesquisa, que abrange um programa experimental realizado em laboratórios, embasado pelas Normas Brasileiras e legislações vigentes.

A Figura 24, mostra o fluxograma com as etapas da pesquisa, que se inicia com a análise espaço-temporal, que precede da definição da área de estudo, obtenção de ortofotocartas e imagens satélites, para elaboração de mapas. Em seguida foi feita a coleta dos materiais estudados, definição dos percentuais dos compósitos propostos, execução do programa experimental (caracterização, física, mineralógica e mecânica), realização de conscientização ambiental e análise estatística dos resultados.

Os ensaios de caracterização física e mecânica foram realizados no Laboratório de Mecânica dos solos da Universidade Federal de Pernambuco, ensaios de Fluorescência de Raio - X foram realizados no Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), especificamente no Departamento de Química Fundamental (DQF) e os ensaios Difratomia de Raio X no Departamento de Solos da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

Figura 24 - Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: Autora.

## **4.1 Avaliação Espaço-temporal**

Os impactos das ações antrópicas que afetaram a dinâmica da encosta e da circunvizinhança foram apresentados por meio do estudo do uso e ocupação do solo. Essa investigação teve como base a fotointerpretação das ortofotocartas fornecidas pela Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco – CONDEPE/FIDEM nos anos de 1964, 1975, 1986, 2004, 2014 e 2021.

### ***4.1.1 Mapas de uso e ocupação do solo***

A análise temporal, dada pelo aumento da densidade demográfica, bem como as ações antrópicas, impactaram diretamente na dinâmica da encosta em estudo. Esse comportamento foi avaliado por meio do processo de uso e ocupação do solo, através da técnica de fotointerpretação obtida pelas imagens de satélite da área.

Para a obtenção das imagens de satélites, foi necessário realizar levantamentos aerofotogramétricos pautado na técnica planialtimétrica de alta precisão, denominada ortofotocarta. Para compreender e interpretar essas imagens, foi necessário georreferenciá-las, por meio das precisões geoespaciais que mapeiam as localizações por meio de um sistema de coordenadas geográficas.

O processo de vetorização consiste no desenvolvimento de desenhos aplicados a ortofotocarta, através de um sistema de coordenadas dadas pelos recursos geográficos por meio de pontos, linhas e figuras geométricas definidas. Cada recurso de ponto é definido por um par de coordenadas, enquanto o recurso de linha é determinado através de polígonos com listas ordenadas nos vértices (ENVIRONMENTAL..., 2020).

As feições da área foram determinadas através da percepção visual, bem como da configuração dos parâmetros da vetorização. Estes foram definidos pelas cores e espessuras das linhas, levando em consideração os parâmetros estabelecidos pelas Especificações Técnicas para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais, (ET-ADGV).

As técnicas estabelecidas pelo (ET-ADGV) tem por objetivo atribuir geometricamente cada classe de objetos constantes por meio do Modelo de Dados Geoespaciais da Secretaria do

Patrimônio da União (SPU). Essas classes foram categorizadas por meio das regras da construção geométrica (SECRETARIA..., 2016).

No que diz respeito ao processo de vetorização, é importante observar a linha criada pelos pontos médios da espessura da linha em formato matricial. De acordo com a SPU (2016), a precisão e a definição da imagem são definidas conforme a uniformidade da espessura de uma linha matricial.

Desta maneira, foi realizada análise temporal da ocupação e uso do solo da área da encosta, levando em consideração a projeção de supressão vegetal, que dá lugar às impermeabilizações do solo pelo acréscimo de ocupações irregulares. Essa avaliação se faz necessária para a atuação efetiva de políticas públicas na área do controle urbano ambiental, criando, desta forma, mecanismos de monitoramento e manutenção da infraestrutura atual.

Um recorte através de uma análise temporal do território foi uma estratégia importante para compreensão da ocupação em 1964, 1975, 1986, 2004, 2014 e 2021. Os mapas georreferenciados foram realizados a partir do software ARCGIS 10.7.1, desenvolvidos a partir de técnicas de geoprocessamento que permite coletar dados relevantes para a programação de intervenções estruturais futuras.

Os indicadores ambientais são classificados em 4 principais tipos: (1) redução da cobertura vegetal; (2) ausência de rede sanitária; (3) tipos de ocupação; (4) adensamento populacional. Esses indicadores foram adaptados e utilizados para classificar a área em estudo, bem como compreender a eficiência dos mesmos diante do cenário atual. Foram realizadas algumas visitas ao local de estudo com o intuito de analisar os fatores dos quais interferem e potencializam os riscos, a fim de avaliar como se comporta os processos erosivos que, por sua vez, comprometem a estabilidade da encosta.

O grau de risco de cada indicador foi classificado em relação ao processo de deslizamento da encosta. Estudos realizados por Santos (2012), estabeleceram alguns critérios de classificação, bem como parâmetros necessários para determinar a veracidade de cada grau de risco, são eles:

- Grau baixo – Não se há risco notório de acidente, do qual não necessita de intervenções específicas;

- Grau médio – Esse parâmetro determina que há risco de acidentes geotécnicos ou hidráulicos de pequeno e médio porte;
- Grau alto – Pode haver riscos de acidentes geotécnicos ou hidráulicos consideravelmente graves.

A Figura 25 mostra a área em avaliação, destacando o talude em estudo, classificado como grau de risco médio, devido as erosões da encosta ocorridas no decorrer dos anos. Medidas paliativas como colocação de lona foram realizadas, para evitar o acúmulo de água, até ser implantada a intervenção de contenção definitiva.

Figura 25 - Vista aérea do talude e área de estudo



Fonte: Autora.

## 4.2 Coleta de materiais

### 4.2.1 Solo

A encosta em estudo foi escolhida devido a facilidade de acesso a coleta do solo, por ter acontecido um deslizamento em 2019 e por estar inserida no perímetro de atuação do Programa Mais Vida nos Morros da Prefeitura do Recife, possibilitando a atuação efetiva da equipe

técnica no território (Figura 26). Foram coletados 300 kg de material na base do talude, devidamente acondicionado em sacos de nylon e armazenados no Laboratório de Mecânica dos solos da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

Figura 26 - Vista superior do talude em estudo



Fonte: Autora.

A coleta da amostra indeformada, foi realizada na crista do talude (Figura 27), onde foi acondicionada dentro de uma caixa de madeirite de seção quadrada de 30 cm x 30 cm e enviada para o Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Figura 27 - Moldagem do corpo de prova



Fonte: Autora.

#### 4.2.2 Resíduo de Construção Civil – (RCC)

Foram coletados 150 kg de Resíduo de Construção Civil (RCC) de Classe A na empresa Ciclo Ambiental localizada no município de Camaragibe-PE, como pode ser visto na (Figura 28). O RCC foi armazenado no Laboratório de Mecânica dos Solos da UFPE.

Figura 28 - Agregado reciclado



Fonte: Autora.

#### 4.2.2 Coleta da fibra do bambu

O bambu utilizado é da espécie *Bambusa vulgaris*, tipo de bambu entouceirante, proveniente de plantações no Condomínio Canaã, Aldeia, Camaragibe-PE (Figura 29), onde foi realizado o corte com o auxílio do equipamento de moto serra, resultando em toras de 2,50 a 3,00 m.

Com a finalidade da utilização da fibra do bambu para o experimento, foi realizado um tratamento de imersão do bambu em uma solução de ácido bórico 1% (1,00 kg/100,00 litros) e sulfato de cobre (500g para 100 litros) conforme Figura 30a, objetivando a retirada do amido e do açúcar. Nunes (2021), descreve que esta solução química vem apresentando bons resultados como imunizante dos bambus, aumentando assim sua vida útil. Os bambus foram cortados, com serra, toras de 15 cm (Figura 30b), para facilitar a retirada da fibra, deixando-as em local arejado para secar.

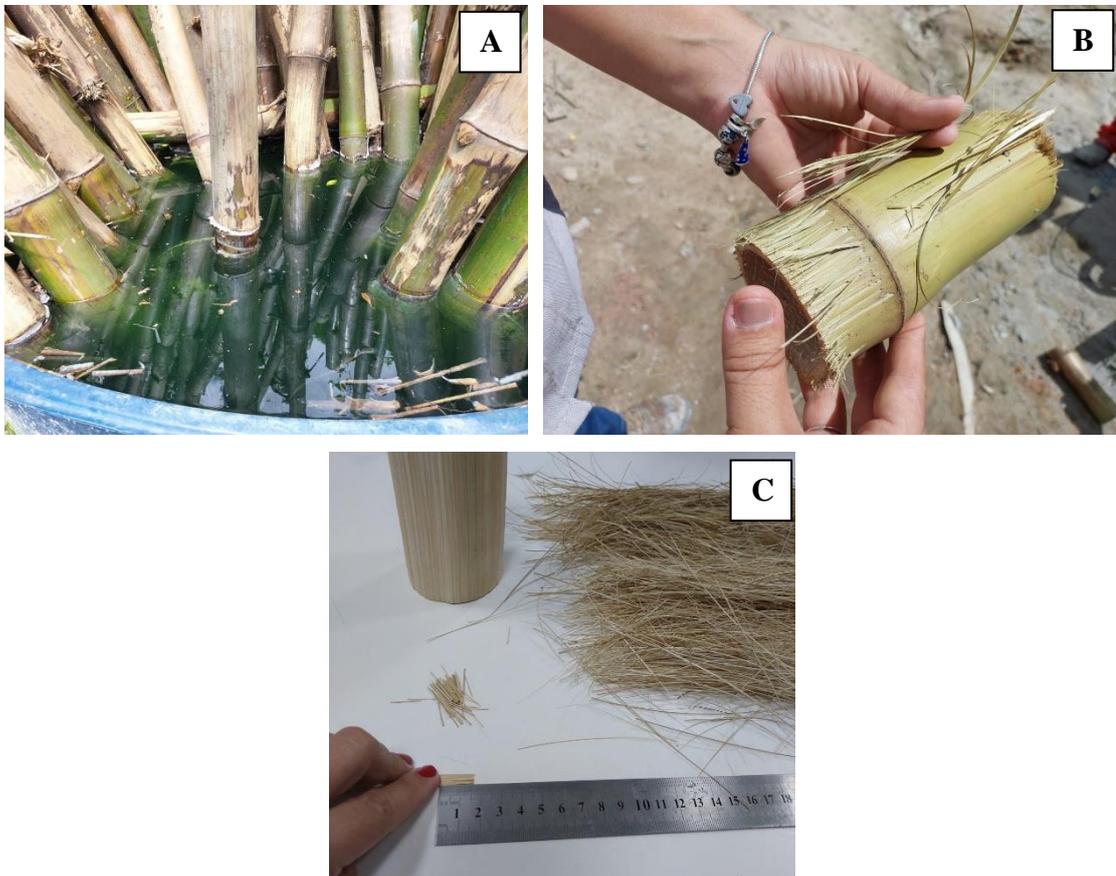
Os filetes de fibra foram extraídos com auxílio de um estilete e cortados com auxílio de uma tesoura. Também foi utilizada a régua para assegurar aproximadamente 1,5 cm de comprimento (Figura 30c).

Figura 29 - Bambu utilizado na pesquisa



Fonte: Autora.

Figura 30 - Processo de preparo da amostra do bambu



Fonte: Autora.

Para o processo de extração e corte da fibra foi necessário utilizar um dispositivo, composto por madeira com uma lâmina acoplada (Figura 31 a e b), garantindo a uniformidade da espessura da fibra de 1mm a 2mm como mostra a Figura 32.

Figura 31- Dispositivo para uniformizar a fibra (a) fibra uniformizada (b)



Fonte: Autora.

Figura 32- Amostra de bambu após o corte



Fonte: Autora.

### 4.3 Determinação dos percentuais dos compósitos

Os percentuais de solo e RCC utilizados na matriz dos compósitos podem ser identificados na Tabela 3. Quanto as fibras do bambu, foram utilizados os percentuais de 1,0% e 1,5%, onde estes possuem comprimento de 1,5cm. Esse delineamento foi proposto por Pedrosa (2021) e Santos (2020), bem como está sendo utilizado como parâmetro nessa pesquisa.

Tabela 3- Identificação dos Compósitos

<b>IDENTIFICAÇÃO</b>	<b>COMPÓSITOS</b>
S 100	Solo (100%)
R100	RCC (100%)
S70, R30	Solo (70%) + RCC (30%)
S50, R50	Solo (50%) + RCC (50%)
S70, R29, F1	Solo (70%) + RCC (29%) Fibra de bambu (1%)
S99, F 1	Solo (99%) + Fibra de bambu (1%)
S98,5 F1,5	Solo (98,5%) + Fibra de bambu (1,5%)
S50, R49, F1	Solo (50%) + RCC (49) + Fibra de bambu (1%)
S70, R28,5, F1,5	Solo (70%) + RCC (28,5) + Fibra de bambu (1,5%)
S50, R48,5, F1,5	Solo (50%) + RCC (48,5) + Fibra de bambu (1,5%)

Fonte: Autora.

#### **4.4 Programa Experimental**

##### **4.4.1 Caracterização física**

Foram utilizadas as diretrizes estabelecidas pela NBR 7181 (ABNT, 2017), para determinação da composição granulométrica do solo, do agregado reciclado e dos compósitos com fibra de bambu, a fim de identificar os percentuais correspondentes ao teor de argila, silte, areia e pedregulho, conforme a NBR 6502 (ABNT, 1995).

Para compreender as características dos materiais utilizados, todas as amostras passaram por um processo de sedimentação para a determinação dos materiais com granulometria fina (Figura 33). O solo, o agregado reciclado e os compósitos foram classificados conforme o Sistema Unificado de Classificação (SUCS) e com o Transportation Research Board (TRB), (ALMEIDA, 2021).

O TBR foi utilizado com a finalidade de classificar a qualidade do solo quanto as suas características físicas. Essa classificação dar-se-á através de grupos de solos identificados por uma codificação que define a distinção dos materiais.

Figura 33 - Sedimentação do solo



Fonte: Autora.

Para a determinação da massa específica do solo, bem como dos compósitos, utilizou-se os métodos estabelecidos pela NBR 6458 (ABNT, 2016). Para a realização do ensaio foi utilizado um picnômetro de bomba a vácuo, conforme pode ser visto na Figura 34.

Figura 34 - Ensaio de densidade real



Fonte: Autora.

#### **4.4.2 Caracterização Mecânica**

##### **4.4.2.1 Ensaio de compactação**

O ensaio de compactação foi realizado, conforme NBR 7182 (ABNT, 2016), utilizando Proctor Normal, a fim de encontrar a umidade ótima e densidade máxima seca, conforme mostra a Figura 35.

Figura 35 -Corpos de prova do ensaio de compactação



Fonte: Autora.

##### **4.4.2.2 Resistência à Compressão simples**

A Resistência à compressão simples (RCS), foi realizada conforme a NBR 12770 (ABNT, 2022), com período de cura de 7 e 28 dias, com aplicação da deformação máxima de 15 mm. Foram moldados 80 (oitenta) corpos-de-prova. Para cada tempo de cura, foram moldados 5 (cinco) CP's correspondente a cada compósito. Todos os CP's foram confeccionados em moldes cilíndricos com dimensões de (5 cm de diâmetro x 10 cm de comprimento) e mantidos em câmara úmida com a finalidade de conservar a umidade de compactação e o tempo de cura conforme a identificação na Tabela 4.

Tabela 4- Identificação dos compósitos e quantificação dos corpos de prova x tempo de rompimento

IDENTIFICAÇÃO (COMPÓSITOS)	CORPOS DE PROVA	
	QTDE (7 DIAS)	QTDE (28 DIAS)
Solo (70%) + RCC (30%)	5	5
Solo (50%) + RCC (50%)	5	5
Solo (70%) + RCC (29%) + Fibra de bambu (1%)	5	5
Solo (99%) + Fibra de bambu (1%)	5	5
Solo (50%) + RCC (49%) + Fibra de bambu (1%)	5	5
Solo (98,5%) + Fibra de bambu (1,5%)	5	5
Solo (70%) + RCC (28,5%) + Fibra de bambu (1,5%)	5	5
Solo (50%) + RCC (48,5%) + Fibra de bambu (1,5%)	5	5
Total de corpos de prova	40	40

Fonte: Autora.

O controle de qualidade dos corpos-de-prova tem por objetivo verificar o teor de umidade antes e após o processo de moldagem. Para a realização dessa análise, retirou-se uma porção de material de cada amostra para a determinação da umidade, utilizando o método da estufa. Após a moldagem dos CP's, eles foram pesados e verificado o grau de compactação. Os parâmetros utilizados na análise estão descritos na Tabela 5.

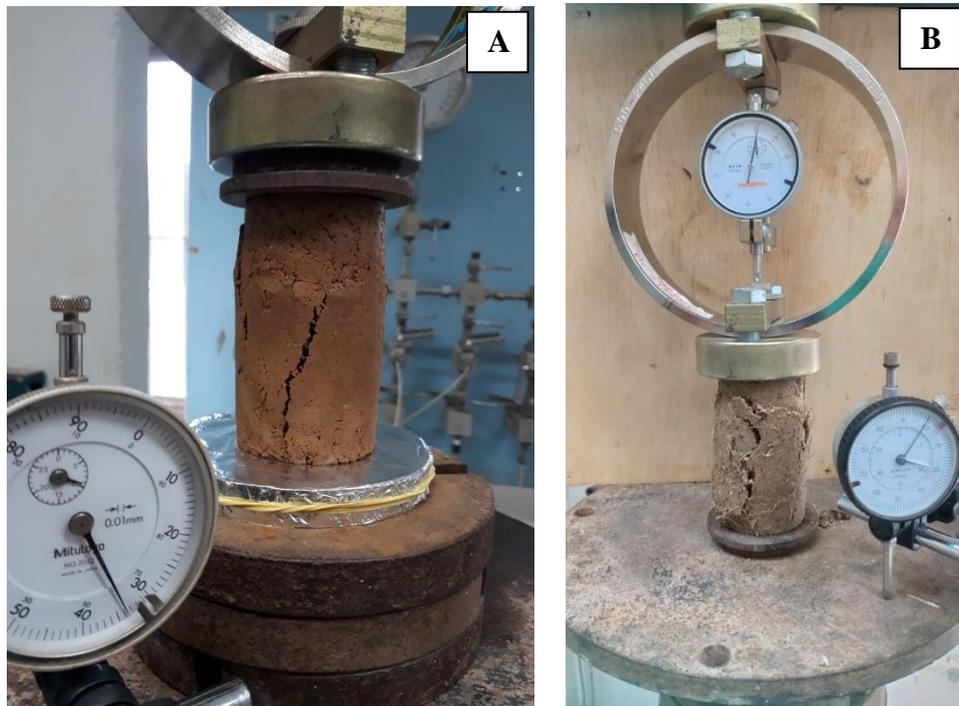
Tabela 5- Parâmetros dos corpos de prova

PARÂMETROS	CRITÉRIOS
Grau de Compactação (GC)	100% $\pm$ 3%
Teor de Umidade (%)	Valor $\pm$ 5%
Dimensões (mm)	Diâmetro 50 $\pm$ 0,5; Altura 100 $\pm$ 1

Fonte: Adaptado de Macedo (2013).

Os corpos de prova (CP) foram confeccionados em um molde cilíndrico com dimensões de 50 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento, sendo preenchidos em três camadas, realizando-se escarificação entre elas. Os CP's foram submetidos a parâmetros de aceitação, com o intuito de garantir a efetividade dos resultados das resistências à compressão simples (RCS), como apresenta a Figura 36 a e b.

Figura 36- Rompimento do corpo-de-prova para o ensaio de compressão simples - solo (a) e compósito (b).



Fonte: Autora.

#### 4.4.2.3 Ensaio de cisalhamento direto

O ensaio de cisalhamento foi realizado de acordo com a NBR 10905 (ABNT,1989) nas condições de umidade natural e inundada, onde foram confeccionados 4 corpos de provas, aplicando as tensões de 50 kPa, 100 kPa, 150 kPa e 200 kPa, Figura 37.

Figura 37- Ensaio de cisalhamento direto



Fonte: Autora.

### ***4.4.3 Caracterização mineralógica***

Neste tópico foram abordados os métodos de análise frente aos resultados da caracterização mineralógica. Numa perspectiva química, também foram observadas as interações moleculares dos elementos presentes em cada amostra a nível molecular, bem como as correlações que verificam o comportamento matricial dos materiais e dos compósitos. Os ensaios realizados foram a lupa binocular e a difração de raios-X.

#### ***4.4.3.1 Lupa binocular***

A análise mineralógica dos teores mais finos do solo, foi realizada no Laboratório de Paleontologia no departamento de geologia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). As amostras de solo e agregados passaram pelo processo de lavagem em água corrente para eliminar as partículas finas de solo com diâmetro menor do que 0,075 mm. Após esse procedimento, os materiais secos em estufa a 100 °C. Cada amostra foi caracterizada através da identificação de propriedades minerais utilizando um Estereomicroscópio Zeiss Discovery V12, Câmera Axio Vision para captura de imagens usando software Zen 3.4 blue edition (ALMEIDA, 2021).

#### ***4.4.3.2 Difração de Raios-X (DRX)***

A determinação da composição química dos materiais foi realizada para compreender o comportamento das estruturas cristalinas quanto as suas interações moleculares, através do ensaio de Difração de Raios-X. Essas composições químicas foram determinadas por meio de uma análise semiquantitativa utilizando a técnica de Fluorescência de Raios-X, onde identifica e qualifica os elementos químicos presentes em cada amostra. Para que as análises cristalográficas, faz-se necessário que os materiais precursores e os compósitos estejam secos em uma granulometria passante na #200 com diâmetro efetivo de (0,075 mm). As análises foram realizadas com uma amostra de 1 (uma) grama, quantidade esta considerada adequada para a realização dos ensaios.

As fases cristalinas de um material ou de um composto são determinadas através da técnica de Difração de Raios-X (DRX). O difratômetro de raios-X é um equipamento que incide um feixe monocromático sobre a amostra de um material com um determinado comprimento de onda

( $\lambda$ ). Esse feixe se difrata em planos cristalográficos por meio das camadas atômicas em diferentes ângulos e interfaces, caracterizando-os como deflexões direcionais. Essas observações foram realizadas através dos estudos do cientista Bragg que determinou a Lei de Bragg.

Para a realização de uma análise localizada, faz-se necessário determinar o ângulo de difração ( $\theta$ ) e a distância interplanar correspondente a dois planos cristalinos adjacentes entre si. A composição mineralógica das amostras analisadas foi analisada por difratometria de raios X na forma de pó não orientado, operando com radiação de  $\text{Cu } K\alpha$ , com velocidade de  $1^\circ \text{ min } 2\theta$ , registrando amplitude de  $5^\circ$  a  $60^\circ$  ( $2\theta$ ). No equipamento Shimadzu modelo XRD 6000 (Figura 38), operando com voltagem de 40 kV e corrente de 30 mA, radiação  $\text{Cu-K}\alpha = 1,54060$

Os critérios empregados para interpretação dos difratogramas e identificação dos minerais constituintes foram baseados no espaçamento interplanar ( $d$ ) conforme apresentado por Jackson (1975), Brown, Brindley (1980), Moore e Reynolds (1989).

Figura 38-Difratômetro de Raio-X



Fonte: Autora.

#### **4.4.4 Caracterização química**

A análise química foi realizada na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) no laboratório de química. Nesta caracterização, foram utilizadas amostras deformadas para a

análise do pH, teores de sais e óxidos (pela fluorescência de raios X) dos materiais. Esses estudos permitem identificar os fatores limitantes do material no aspecto químico e mineralógico, dos quais associam o percentual e a interação de cada elemento no solo, levando em consideração parâmetros como a fertilidade e a produtividade, (ALMEIDA, 2021).

#### 4.4.4.1 Ensaio de pH

O solo, o RCC e os compósitos foram submetidos a análise de pH (Figura 39), de acordo com o Manual de Métodos de Análises de Solo da EMBRAPA (2017), analisando-os em água destilada e solução de KCl. As proporções utilizadas foram de: 10g de compósito submetidos a 25ml da solução. Vale salientar que tem três condições possíveis associadas à reação do solo: acidez, neutralidade e alcalinidade, conforme o Tabela 6.

Figura 39- Ensaio de pH



Fonte: Autora.

Tabela 6- Tipos de pH

TIPOS	PARÂMETROS
Acidez forte	pH < 5
Acidez moderada a forte	5 < pH < 7
Neutro	pH = 7
Alcalinidade leve a moderada	7 < pH < 9
Alcalinidade	pH > 9

Fonte: Adaptado de Macedo (2013).

A diferença dos valores de pH é expressa como  $\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{KCL}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ , indica se o alumínio é principalmente trocável ou não trocável. De acordo com Brady (1979), o  $\Delta\text{pH}$  da fonte de cargas negativas nos colóides do solo está relacionado principalmente às argilas silicatadas, enquanto no  $\Delta\text{pH}$  positivo, são principalmente óxidos de ferro e alumínio.

#### 4.4.4.2 Fluorescência de Raios-X (FRX)

Para compreender o comportamento mineralógico, bem como as composições químicas presentes em cada amostra, realizou-se o ensaio através da técnica de fluorescência de raios-X (FRX). Os elementos químicos principais foram avaliados por meio de um equipamento da marca Rigaku, modelo ZSX Primus II (Figura 40), do Núcleo de Estudos Geoquímicos – Laboratório de Isótopos Estáveis - NEG-LABISE (UFPE), equipado com tubo de Rh e 7 cristais analisadores pelo método de curvas de calibração.

As amostras foram preparadas por meio de pastilhas utilizando uma matriz cilíndrica de alumínio com 35 mm de diâmetro. Estas foram submetidas a uma carga de 30 tf durante 1 (um) minuto. Após o primeiro momento, as pastilhas foram inseridas para secagem em estufa com temperatura de  $\pm 110$  °C por, aproximadamente, 2 horas.

Ao analisar outros estudos, observou-se que quando a amostra se aglomera, deve-se realizar a adição de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) ou ácido acetilsalicílico ( $C_9H_8O_4$ ) onde, para esse estudo, não foi necessário. Os elementos traços analisados foram ( $NaO_2$ ,  $MgO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $P_2O_5$ ,  $SO_3$ ,  $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ), onde os mesmos buscam se ajustar à estrutura cristalina dos minerais dos elementos maiores raios.

Figura 40- Equipamento de marca Rigaku, modelo ZSX Primus II



Fonte: Autora.

#### ***4.4.4.3 Análises estatísticas***

A metodologia de otimização estatística utilizada na análise dos dados é a Response Surface Methodology (RSM) (BRUNNING et al., 2019; WANG; CHENG; TAN, 2018; GÜLLÜ; FEDAKAR, 2007; MYERS; MONTGOMERY; ANDERSON-COOK, 2009), que é um conjunto de técnicas que tem a finalidade de otimizar o percentual de inclusão das variáveis independentes, ou de entrada, e variáveis dependentes, ou de saída, viabilizando aferir o peso que cada uma possui na resposta do sistema em questão.

Esse tipo de técnica tem ganhado bastante notoriedade em estudos geotécnicos (GÜLLÜ; FEDAKAR, 2007; YU; BATHURST, 2017; SILVA et al., 2021), pois fornece base teórica apoiada em fundamentos estatísticos e não puramente em experiência profissional (YU; BATHURST, 2017). Diversas áreas de estudo podem se beneficiar dos conceitos utilizados por esse método, especialmente quando se trata de analisar diferentes tipos de solos (WANG; CHENG; TAN, 2018; WANG et al., 2021).

Nesse sentido, é possível utilizar os resultados de ensaios laboratoriais como base para a formulação de um modelo matemático que visa otimizar estudos geotécnicos. Desta maneira, as variáveis independentes selecionadas foram os teores de incorporação do RCC e da fibra de bambu, devido à influência direta desses componentes no comportamento da resistência à compressão simples (RCS) do compósito, que é a variável dependente do modelo matemático em questão.

Além dos teores de RCC e de fibra de bambu, foi incluída outra variável independente, o tempo de cura (TC) em câmara úmida. De acordo com os estudos desenvolvidos por Güllü e Fedakar (2017) e Silva et al. (2021), o TC está entre os parâmetros de maior influência positiva para o valor da resistência a compressão simples nesse tipo de estudo.

De acordo com Silva et al., (2021) as variáveis independentes foram determinadas através das análises de variância, distribuição probabilística e verificação dos resultados médios da resistência a compressão simples. O método ANOVA (fator único) é uma técnica que possibilita compreender as variações significativas representadas pelo nível de significância de cada variável independente e suas interações no modelo o Valor-P, que não pode ultrapassar de 5% (0,05) (MAZUMDER et al., 2021).

A determinação das variáveis independentes foi realizada por meio de análises de variância, distribuição probabilística e avaliação dos resultados médios da resistência à compressão simples, como descrito por Silva et al. (2021). O método de Análise de Variância (ANOVA) de fator único permitirá compreender as variações significativas representadas pelo nível de significância de cada variável independente e suas interações no modelo, com um valor-p limite de 5% (0,05).

Para garantir a significância estatística dos resultados, é importante avaliar os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), os quais devem estar acima de 70%. Além disso, a diferença entre o  $R^2$  ajustado e o  $R^2$  previsto não deve ultrapassar 20% (0,2), conforme preconizado na literatura (DELOUCH; ULBRICH, 2007; SCHOEFS; LE; LANATA, 2013; MAZUMDER et al., 2021).

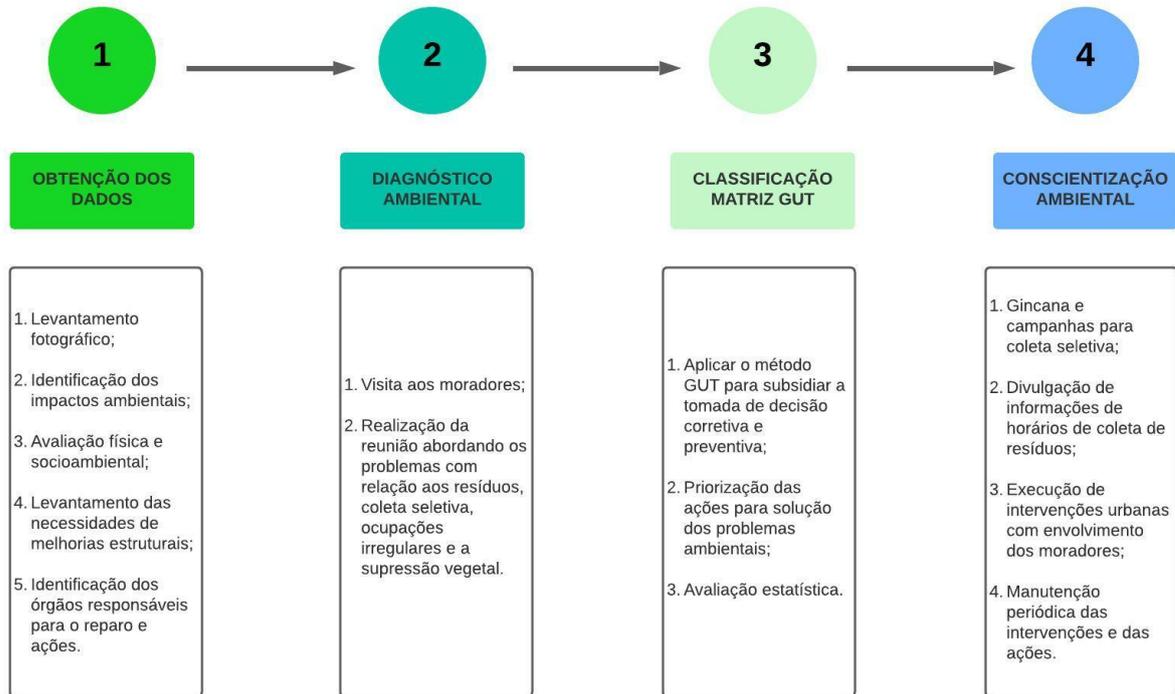
A modelagem matemática e as análises gráficas de superfície permitiram estabelecer as relações entre as variáveis dependentes e independentes, proporcionando um ajuste adequado para cada modelo. A projeção vetorial  $2n + 1$  foi utilizada para definir a codificação das variáveis, considerando limites superiores, inferiores e pontos axiais, representados de forma matricial. A análise estatística, incluindo as curvas de projeção superficial e as variações modais determinadas pelo método ANOVA, será realizada utilizando a licença estudantil do software Minitab 19.

#### ***4.4.4.4 Conscientização ambiental***

A importância de inserir as ações de conscientização ambiental com o objetivo de mitigar os impactos das ações antrópicas são bastantes relevantes para conservação e manutenção da infraestrutura das cidades, principalmente nas áreas de risco, por possuir vulnerabilidades geológicas e hídricas.

A Figura 41 apresenta o fluxograma das etapas dos registros realizados na ação de conscientização ambiental, a fim de definir o método de atividades educativas específicas que trabalham a temática de educação ambiental de forma articulada, abordando os problemas mapeados no diagnóstico socioambiental e se conectando as soluções que irão colaborar com as mudanças de comportamento dos moradores em relação aos temas como gestão de resíduos e sustentabilidade.

Figura 41- Fluxograma da conscientização ambiental



Fonte: Autora.

#### 4.4.4.5 Aplicação da Matriz GUT

A matriz GUT (gravidade, urgência e tendência) é uma técnica utilizada para definir as tomadas de decisões visando buscar soluções para a resolução de problemas mais complexos de forma clara e objetiva (NASCIMENTO; SANTOS; ALMEIDA, 2018). Os pesquisadores Charles Kepner e Benjamin Tregoe desenvolveram o método no ano de 1981, cuja finalidade é qualificar e priorizar as tomadas de ações levando em consideração três fatores: gravidade, urgência e tendência que auxiliam na mitigação do problema analisado (FERNANDES, 2015).

Para a aplicação da matriz GUT, foi necessário a análise do problema do qual se é atribuído valores quantitativos na escala de 1 a 5, onde estes são definidos pelas características: gravidade, urgência e tendência. Os pontos atribuídos são multiplicados resultando em conceitos que definem o processo para a tomada de decisões. Esses conceitos podem ser vistos no (Quadro 4). As ações para o gerenciamento dos problemas foram validadas nos estudos realizados por Martins *et al.*, (2017) e Fáveri e Silva (2016).

O método GUT será utilizado para caracterizar as tomadas de decisões através do processo de gestão, pois auxilia nas medidas efetivas de correção ou de erradicação dos problemas mapeados, a partir do prévio diagnóstico realizado quanto ao grau de impacto.

Quadro 4 - Variáveis consideradas na Matriz GUT

<b>SIGLA</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO</b>	<b>CONCEITO</b>
G	GRAVIDADE	Representa o impacto do problema caso ele venha a acontecer. É analisado sobre alguns aspectos, como: tarefas, pessoas, resultados, processos, organizações etc. Verifica-se sempre seus efeitos a médio e longo prazo. caso o problema em questão não seja resolvido.
U	URGÊNCIA	Representa o prazo, o tempo disponível ou necessário para resolver um determinado problema analisado. Quanto maior a urgência, menor será o tempo disponível para resolver esse problema. É recomendado que seja feita a seguinte pergunta: “A resolução deste problema pode esperar ou deve ser realizada imediatamente?”.
T	TENDÊNCIA	Representa o potencial de crescimento do problema, a probabilidade de o problema se tornar maior com o passar do tempo. É a avaliação da tendência de crescimento, redução ou desaparecimento do problema. Recomenda-se fazer a seguinte pergunta: “Se eu não resolver esse problema agora, ele vai piorar pouco a pouco ou vai piorar bruscamente?”.

Fonte: Adaptado de Periard (2011).

O método GUT foi aplicado conforme as premissas estabelecidas quanto as pontuações apresentadas no (Quadro 5), levando em consideração os critérios de gravidade “G”, urgência “U” e tendência “T”, sendo estes multiplicados para a determinação dos fatores determinísticos (GUT). Ao obter essas pontuações, catalogou-se as incidências ambientais que, por sua vez, possibilitou uma melhor análise frente as tomadas de decisões corretivas e/ou preventivas.

Quadro 5 - Pontuação do método GUT

<b>PONTOS</b>	<b>GRAVIDADE</b>	<b>URGÊNCIA</b>	<b>TENDÊNCIA</b>
	<b>CONSEQUÊNCIA SE NADA FOR FEITO</b>	<b>PRAZO PARA TOMADA DE DECISÃO</b>	<b>PROPORÇÃO DO PROBLEMA NO FUTURO</b>
5	Prejuízos extremamente graves	É necessária ação imediata	Se nada for feito, agravamento imediato
4	Muito graves	Com alguma urgência	Vai piorar a curto prazo
3	Graves	O mais cedo possível	Vai piorar a médio prazo
2	Pouco graves	Pode esperar um pouco	Vai piorar a longo prazo
1	Sem gravidade	Não tem pressa	Não vai piorar

Fonte: Adaptado de Martins *et al.* (2017).

## 5 RESULTADOS

Neste capítulo estão sendo apresentados os resultados obtidos na avaliação espaço-temporal do perímetro do território, bem como dos ensaios realizados em laboratório, para subsidiar as análises da caracterização física, química, mecânica e mineralógica, além da análise estatística.

### 5.1 Avaliação espaço-temporal

Foram fornecidas pela Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa de Pernambuco CONDEPE/FIDEM, em escala 1:10.000, as ortofotocartas do território em estudo dos anos de 1964, 1975, 1986. Para os anos de 2004, 2014 e 2021, foram realizadas as análises levando em consideração as imagens de satélites pesquisadas no site USGS (United States Geology Service). De todos os anos, foram obtidos mapas vetorizados através do Sistema de Referência para o Sistema Geodésio Brasileiro (SGB).

A tabela 7 apresenta o percentual de ocupação do solo ao longo dos anos por cada tipologia (mancha urbana, sistema viário, solo exposto e vegetação), sendo possível observar a crescente evolução da área de densidade urbana. Observa-se que em 2021, a ocupação da área urbana foi de 84,44%, representando uma diminuição no percentual de vegetação e de solo exposto. Segundo Santos (2019), esses fatores geram instabilidade em áreas de risco, contribuindo para os desastres naturais, pois resulta no aumento da impermeabilização do local o que potencializa os desastres naturais.

Tabela 7- Dados de Uso e ocupação do solo dos anos de 1964, 1975, 1986, 2004, 2014 e 2021

Tipologias	1964		1975		1976		2004		2014		2021	
	Área(ha)	% ocup	Área(ha)	%ocup	Área(ha)	%ocup	Área(ha)	% ocup	Área(ha)	% ocup	Área(ha)	% ocup
Mancha urbana	3,22	34,31	3,52	37,51	3,99	42,48	7,5	79,92	7,47	79,58	7,93	84,44
Sistema Viário	0,81	8,66	0,74	7,92	0,73	7,77	1,24	13,18	0,97	10,37	0,97	10,3
Solo Exposto	0,76	8,13	0,78	8,35	0,93	9,91	0,04	0,47	0,34	3,61	0,21	2,19
Vegetação	4,59	48,9	4,34	46,2	3,74	39,82	0,61	6,49	0,6	6,41	0,29	3,05
Total	9,39	100	9,39	100	9,39	100	9,39	100	9,39	100	9,39	100

Fonte: Autora.

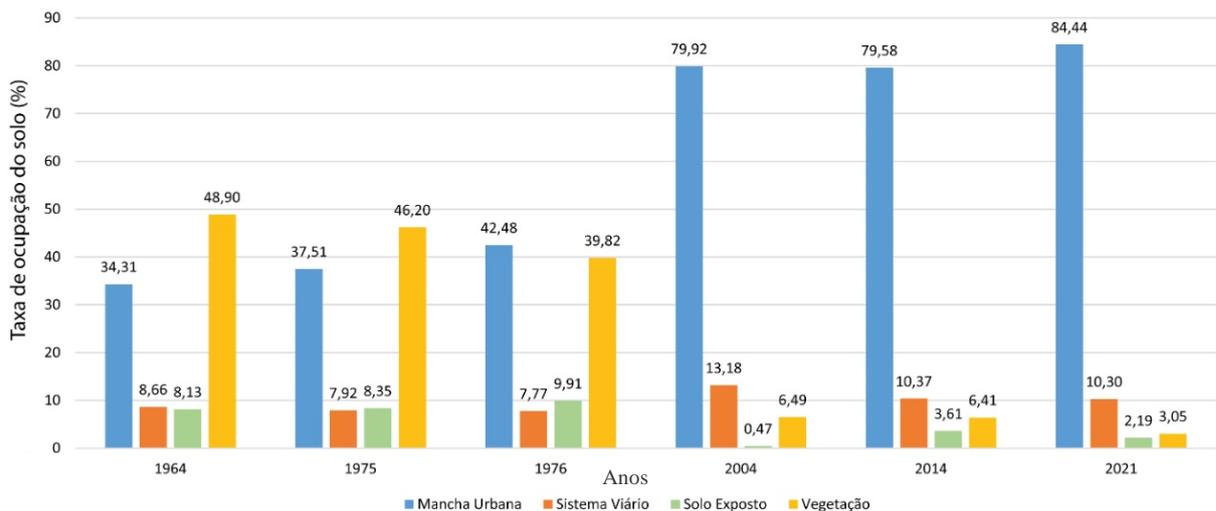
A Figura 42, apresenta a avaliação espaço temporal, descrevendo os resultados quantitativos de avaliação do uso e cobertura do solo na área em estudo. Foi constatada uma diminuição da

vegetação nativa existente devido às ações antrópicas de 49,90% para 3,05%, ou seja, uma redução de 95,52%.

Pode-se observar também que, em 2021, a ocupação da área urbana foi de 84,44% em relação ao ano de 1964, comprovando a falta de controle urbanístico, bem como a impermeabilização do solo, fatores estes que potencializam o risco de acidentes geológicos. Vale ressaltar também que há uma diminuição do solo exposto, de 8,13% para 2,19%, o que também comprova o avanço das ocupações da área.

A quase estabilização do percentual do sistema viário entre 8% e 10% é perceptível pela falta de desenvolvimento da infraestrutura viária e de melhoria de acesso dos moradores.

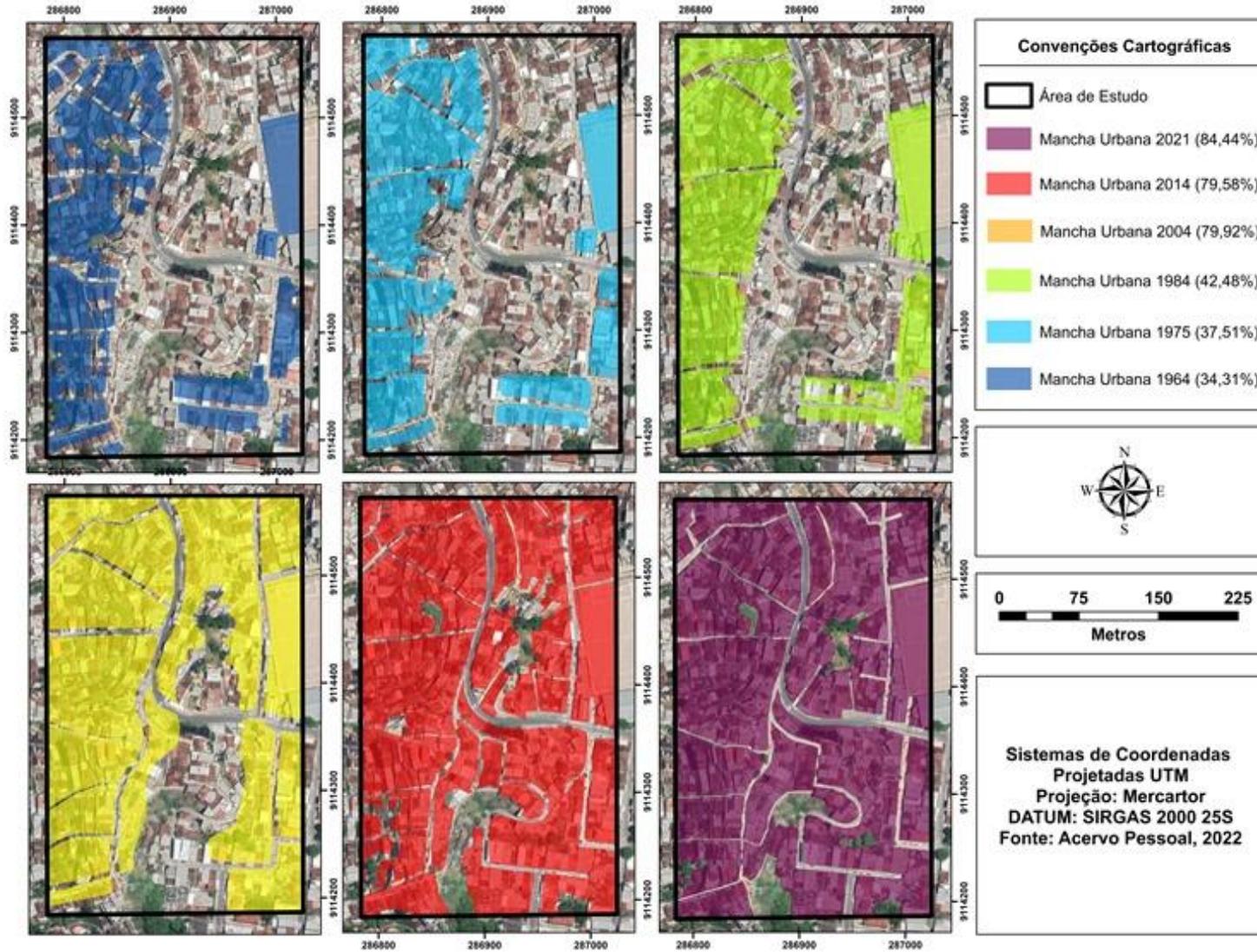
Figura 42 - Percentuais das áreas para os anos de 1964, 1975, 1986, 2004, 2014 e 2021



Fonte: Autora.

Na Figura 43, pode-se observar a evolução espaço-temporal do crescimento urbano ao longo dos anos, chegando a 84,44% da densidade local, através do surgimento de moradias irregulares, o que agrava a situação da rede de distribuição de drenagem e/ou sanitária pela ausência de saneamento básico. Além disso, os esgotos são interligados pelos moradores, sem autorização do poder público, nas redes de drenagem de água pluvial aumentando a possibilidade de contaminação do solo, bem como contribuindo para assoreamentos junto as encostas.

Figura 43 - Evolução da ocupação do Território



Fonte: Autora.

Em 2021, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), registrou em Recife uma média geométrica de crescimento anual equivalente a 0,89%, entre os anos de 1991 e 2021, com cerca de 1.310.259 habitantes em 1991 e 1.661,00 habitantes em 2021. Esse levantamento reflete o elevado crescimento populacional e conseqüentemente as ocupações urbanas desordenadas nas áreas impróprias para moradia.

Quando o crescimento da densidade populacional se desenvolve de forma desordenada, altera de forma irreversível a paisagem natural demonstrada nos mapas de 1964 a 1986, reduzindo qualidade de vida da população. Vale ressaltar, portanto, quais foram as causas que levaram a população a ocupar um espaço que, por sua vez, pode arriscar a sua própria existência. Essas causas podem ocorrer de forma natural como tem-se observado nesses últimos anos.

O referido aumento desordenado populacional, bem como a falta de planejamento e controle urbano, podem ser consequência de uma gestão pública deficiente, que não possui a capacidade de realizar melhorias de infraestrutura urbana para atender o acréscimo dos novos aglomerados. Assim, novas ocupações irregulares surgem, aumentando a degradação ambiental e redução da biodiversidade, conforme os estudos realizados por (SANTOS, 2020).

As Figuras 44 a 49 apresentam os resultados dos sensoriamentos remotos, sendo possível perceber que área onde a encosta se encontra, está vulnerável a riscos eminentes, devido à proximidade das ocupações existentes na crista e na base do talude.

É possível observar na Figura 44, no ano de 1964, que a área correspondente a vegetação está presente em quase toda extensão do local, portanto, o aumento da população não interferiu diretamente na vegetação existente.

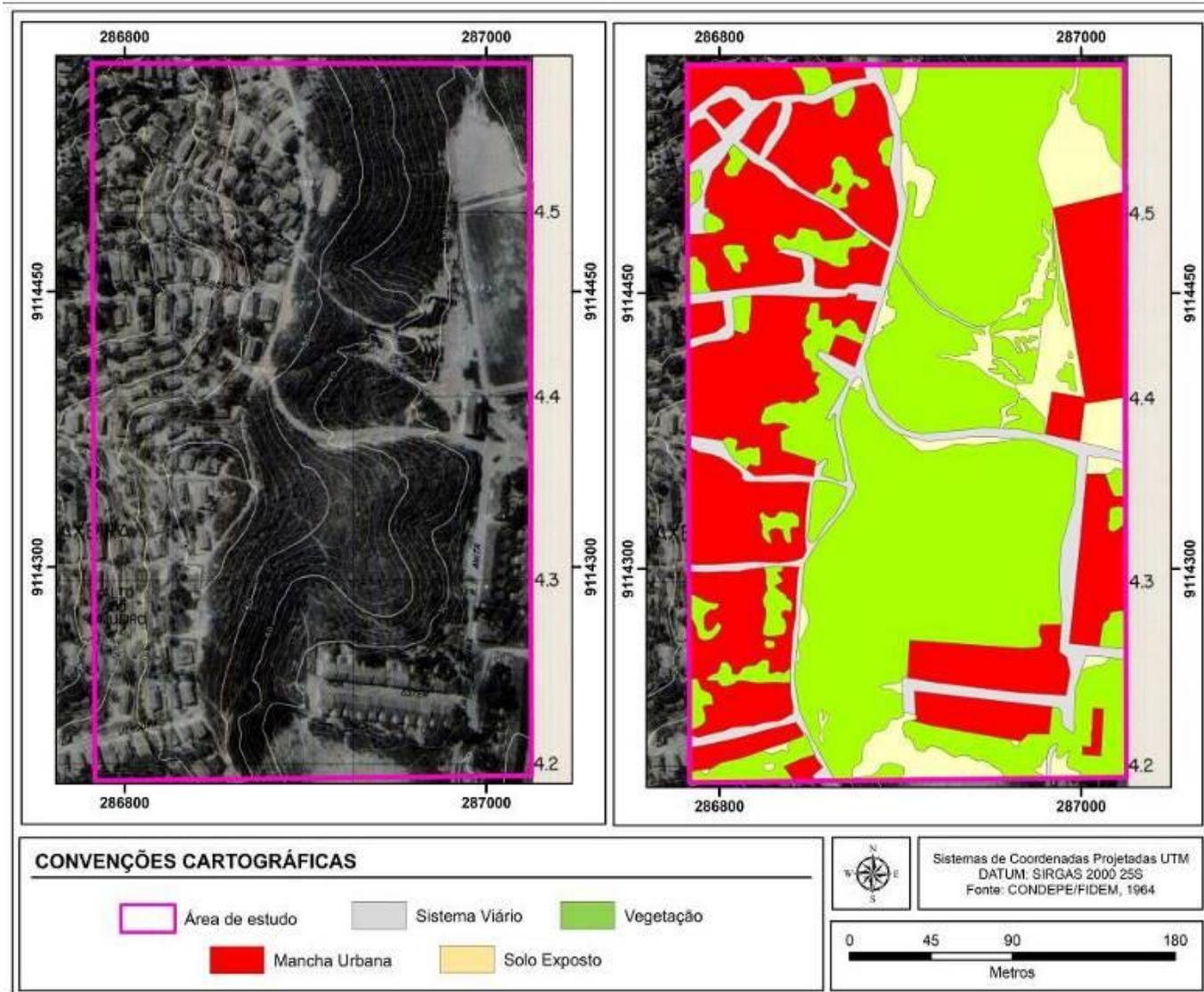
Ao analisar o ano de 1975 (Figura 45), percebe-se que o aumento da população está interligado a diminuição da vegetação e desenvolvimento de novas construções. A ratificação da vegetação pode aumentar a umidade relativa do ar local, bem como causar assoreamento em áreas de risco. Ao comparar a malha de estudo dos anos de 1964 e 1975, verifica-se que houve uma modificação da malha viária, onde em alguns locais, a mesma não permanece, dando incidência a construção de novas moradias.

No ano de 1986 (Figura 46), verifica-se que a vegetação ainda é menor e que o solo exposto que foi ocupado por algumas construções. No ano de 2004 (Figura 47), grande parte do território ocupado por vegetações, foi contornada pelas construções e pela formação de malhas viárias. Esse processo desordenado é alarmante, pois incide na modificação das características habitacionais.

Essa ocupação é resultante da falta de fiscalização dos órgãos públicos, como também de políticas habitacionais para moradores que vivem em situação de vulnerabilidade e pela falta de planejamento urbano. Para tanto, sugere-se que projetos voltados para a revitalização das áreas afetadas, sejam desenvolvidos para mitigar esses impactos causados pelas ações antrópicas.

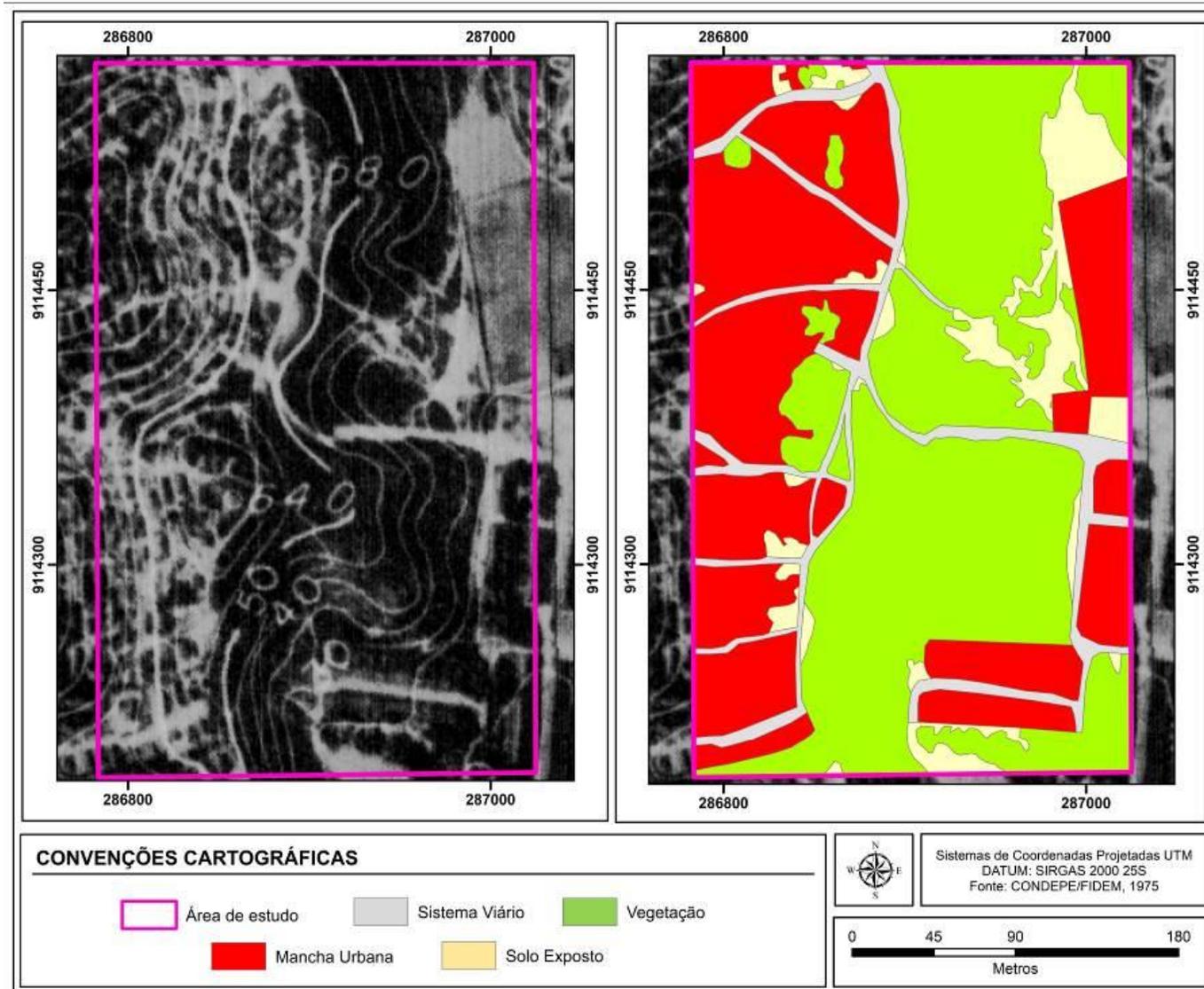
Os anos de 2014 e 2021 (Figuras 48 e 49) possuem um cenário bem semelhante, pois foi constatada que toda a área em estudo foi ocupada por construções habitacionais e malhas viárias. A vegetação permaneceu em 6,41% em alguns pontos, além do solo natural em 3,61%.

Figura 44 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo – 1964



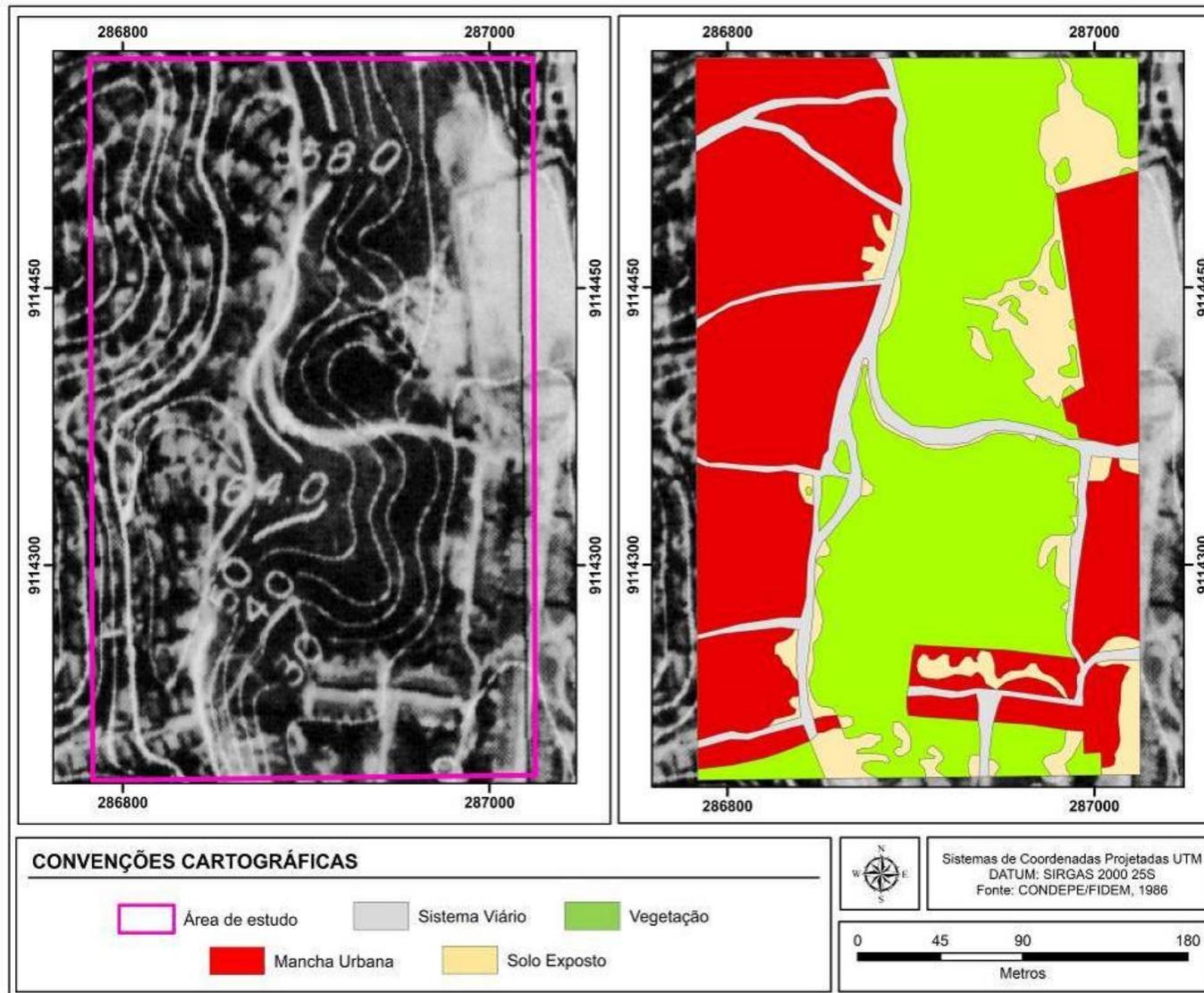
Fonte: Autora.

Figura 45 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo – 1975



Fonte: Autora.

Figura 46 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo – 1986



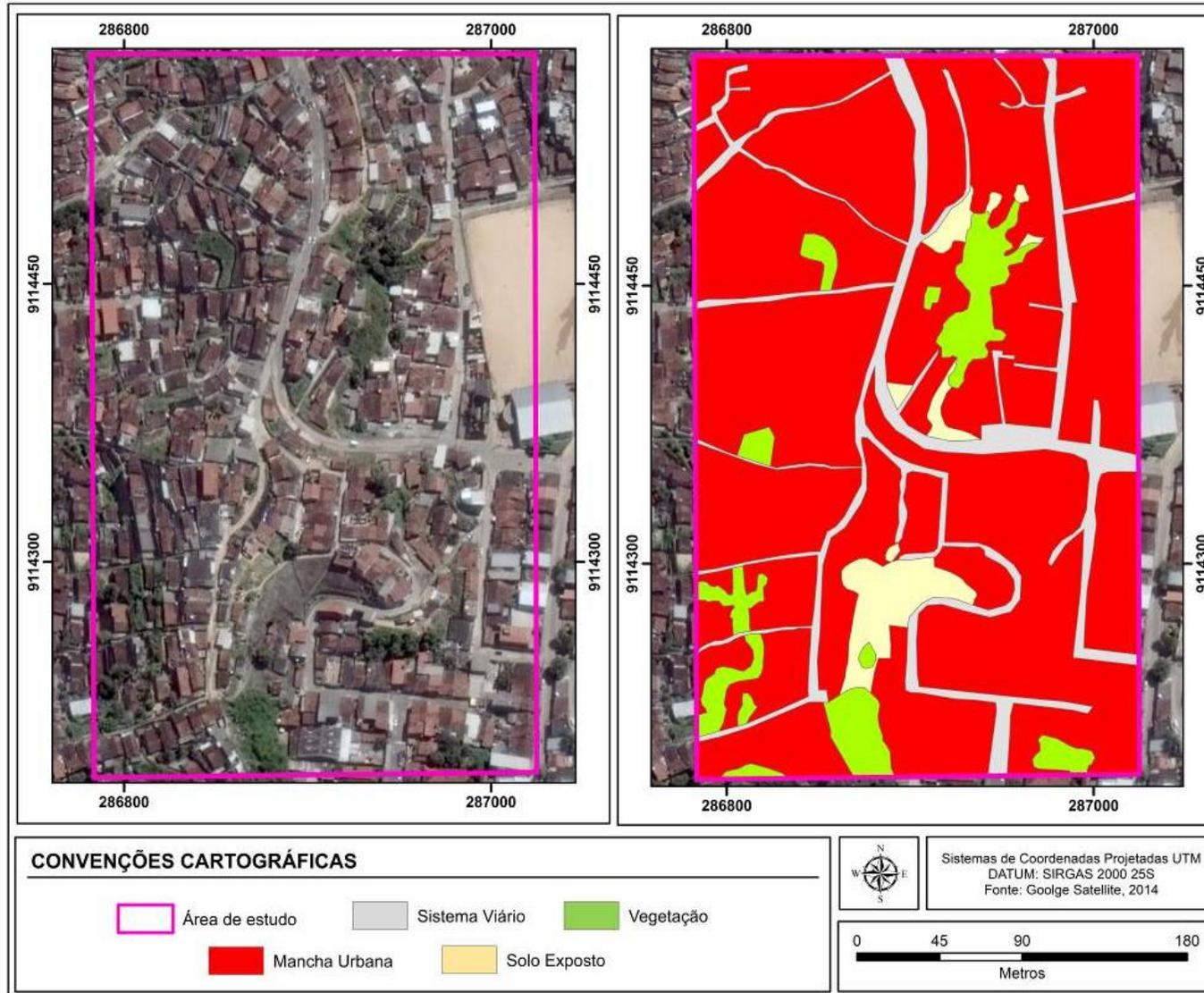
Fonte: Autora.

Figura 47 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo – 2004



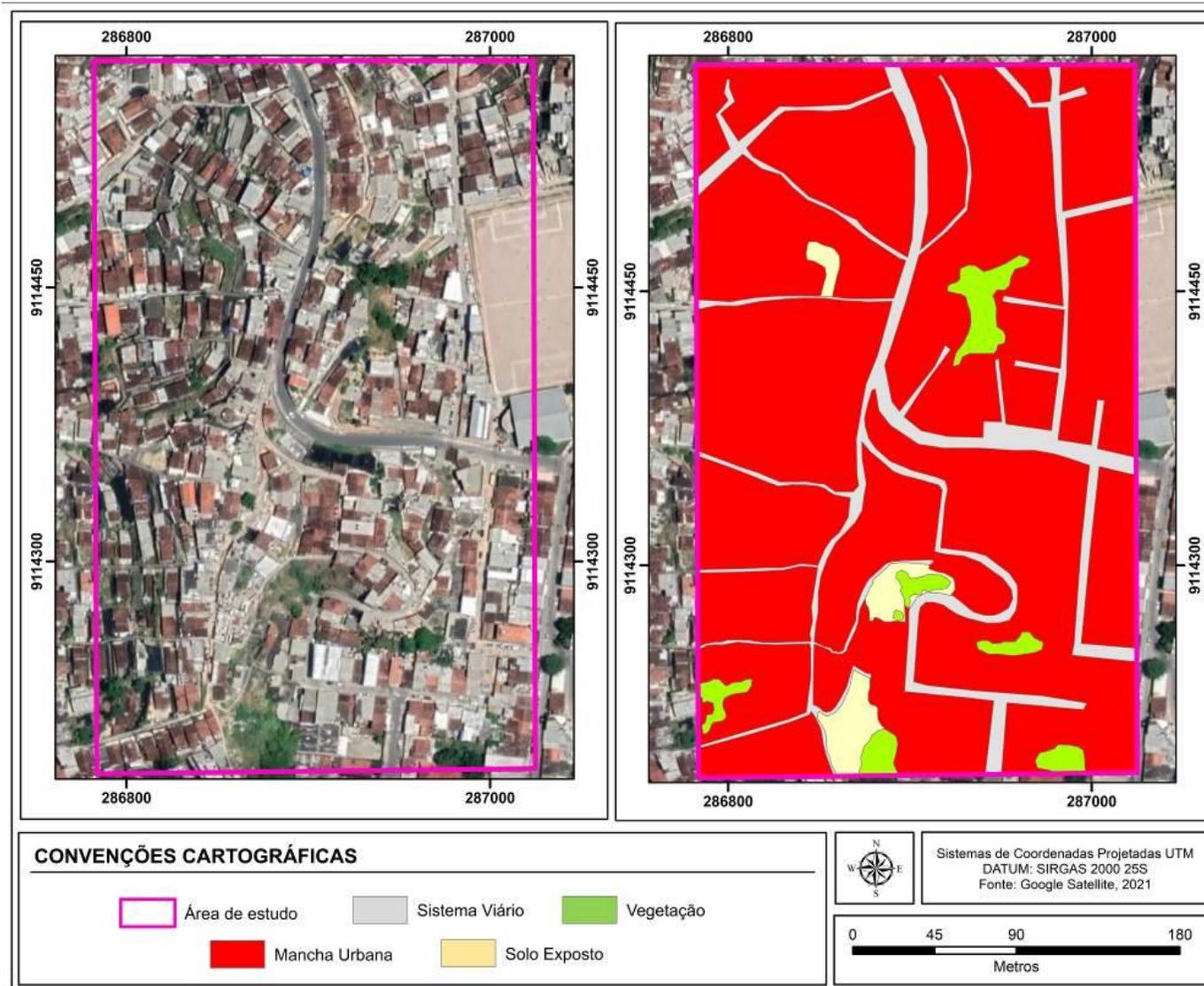
Fonte: Autora.

Figura 48 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo – 2014



Fonte: Autora.

Figura 49 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo – 2021



Fonte: Autora.

## 5.2 Ensaio de laboratório

Neste item, conforme o programa experimental, foram realizados ensaios para a caracterização física, química, mineralógica e mecânica dos materiais e compósitos. A Tabela 8 apresenta os quantitativos e os tipos de ensaios.

Tabela 8- Ensaio realizados na pesquisa

CARACTERIZAÇÃO	TIPOS DE ENSAIOS	QUANT (UNID)	TIPO DE MATERIAL	
Física	Análise granulométrica	8	Solo, RCC; e (solo + RCC)	
	Densidade real	8		
	Limite de Atterberg	8		
Química	pH	8		
	Fluorescência de Raio X	2		
Mineralógica	Difratometria de Raio X	2		
	Lupa Binocular	2		
Mecânica	Compactação Proctor Normal	10		Solo, RCC, Solo + RCC, Solo+RCC+ fibras
	Cisalhamento direto	8		Solo
	Compressão simples	80	Solo, RCC, Solo + RCC, Solo+RCC+ fibras	
<b>Total</b>		<b>120</b>		

Fonte: Autora.

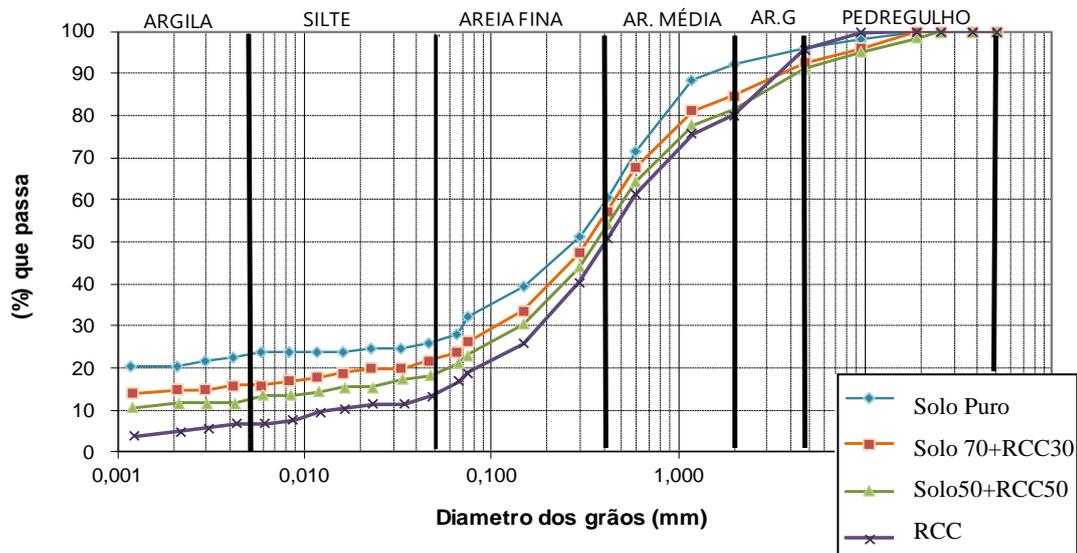
## 5.3 Caracterização física

Os ensaios de caracterização física foram realizados para o solo, RCC e os compósitos. Nesse item será mostrado os resultados obtidos com a análise granulométrica, massa específica e limites de *Atterberg* (limites de liquidez, limites de plasticidade e índice de plasticidade).

### 5.3.1 Análise granulométrica

A Figura 50 apresenta as curvas das análises granulométricas do solo, do RCC e dos compósitos.

Figura 50 - Curvas granulométricas



Fonte: Autora.

Pode-se observar na Tabela 9, que o solo apresentou uma fração predominante de areia com valor de 69%, seguido pelos percentuais de argila e silte, 22% e 5%, respectivamente. O RCC possui um comportamento semelhante a areia com frações que variam em torno de 82%, seguidos dos teores de 6% e de 8% de argila e silte, respectivamente. Os compósitos S70 R30 e S50 R50 também apresentaram predominância do material nos teores de areia (70% e 71%), seguidos por argila (16% e 12%), silte (6% e 7%) e pedregulho (8%, 10%), devido ao acréscimo do RCC.

Tabela 9- Percentual de tamanho dos grãos dos materiais e compósitos

AMOSTRA	FRAÇÕES DO SOLO (%)				RELAÇÃO (SILTE/ARGILA)
	ARGILA	SILTE	AREIA	PEDREGULHO	
S100	22	5	69	4	0,23
R100	6	8	82	4	1,33
S70R30	16	6	70	8	0,37
S50R50	12	7	71	10	0,58

Fonte: Autora.

A relação silte/argila para o solo foi de 0,23, que segundo a EMBRAPA (2022) esta relação é usada para avaliar o grau de intemperismo em solos de regiões tropicais, concluindo que solos com relação inferior a 0,70%, possuem alto grau de intemperismo o que indica maiores incidências de processos erosivos, confirmando a erodibilidade do solo em estudo.

Foi verificado também, que ao acrescentar resíduo de construção ao solo, aumenta o valor da proporção silte/argila para 1,33%. A relação de silte/argila do compósito S50R50 foi de 0,58, superior ao do compósito S70R30, que confirmam os resultados das pesquisas de Nascimento *et al.*, (2019), Pedrosa (2021) e Santos (2022), pois nas misturas envolvendo o RCC também ocorrem um aumento nesta relação, contribuindo para redução do processo erosivo do solo.

Conforme o Sistema Unificado dos solos (SUCS), o solo foi classificado como areia argilosa – SC de baixa plasticidade, resultados estes apresentados na Tabela 10. Observou-se que o material possui uma fração de areia com 69% e limite de liquidez igual a 58%. O Agregado reciclado foi classificado como areia siltosa – SM. O compósito S70R30 foi classificado como areia argilosa e a mistura S50R50 como areia argilosa e siltosa.

Tabela 10- Classificação das amostras segundo o SUCS

AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO - SUCS
S100	SC - Areia argilosa
R100	SM - Areia siltosa
S70R30	SC – Areia argilosa
S50R50	SM/ SC – Areia argilosa e siltosa

Fonte: Autora.

### 5.3.2 Densidade real dos grãos

A Tabela 11 apresenta os resultados da densidade real dos grãos, onde se observa que os valores estão na faixa de 2,562 e 2,649.

Tabela 11- Densidade real das amostras

AMOSTRA	DENSIDADE REAL
S100	2,639
R100	2,562
S70R30	2,649
S50R50	2,615

Fonte: Autora.

Para os compósitos denominados S70R30 e S50R50, os resultados da densidade real foram diferentes, pois nota-se pouca variação dessas variáveis com valores de 2,649 e 2,615, respectivamente, o que corroboram com os estudos realizados por Macedo (2013), onde observou um valor bem semelhante de, aproximadamente, 2,63 para o RCC. As análises

realizadas por Portela (2019) comprovam que o valor da densidade para o solo não ultrapassa o valor de 2,62.

### 5.3.3 Limites de Atterberg

Na Tabela 12, observa-se os valores dos ensaios de Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e o Índice de Plasticidade. É possível observar que a amostra de RCC não possui limite de plasticidade e liquidez e se comportam como material não plástico. O solo (S100) apresenta percentuais e se classifica como moderadamente plástico.

Em relação aos compósitos S70R30 e S50R50, o acréscimo do RCC ao solo diminui o índice de plasticidade, tornando as amostras levemente plástica, corroborando com os resultados de Souza, Rudnick e Lukiantchuki (2020) e de Santos (2019).

Tabela 12- Limites de Atterberg dos materiais e compósitos

AMOSTRA	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CLASSIFICAÇÃO (IAEG,1979)
S100	29	19	10	Moderadamente Plásticos
R100	NL	NP		Não plásticos
S70R30	23	16	8	Levemente plásticos
S50R50	23	15	7	Levemente plásticos

Fonte: Autora.

## 5.4 Caracterização química

A análise química auxilia na classificação quanto à dispersividade dos materiais, o que afeta a estabilidade estrutural. Foram realizados, teores de sais e óxidos pelo ensaio de fluorescência de Raio X para o solo e para o RCC e ensaios de pH (solo, RCC e compósitos).

### 5.4.1 Fluorescência de Raio X

Para compreender o comportamento químico dos materiais, foram analisados os resultados obtidos através do ensaio de Fluorescência de Raio-X. Diante dos resultados apresentados no Quadro 6, percebe-se que o dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>), do qual pertence ao grupo funcional dos silicatos, apresenta-se em maiores proporções no solo in natura e no Resíduo de Construção Civil (RCC) com percentuais de 45,47% e 51,72%, respectivamente.

É possível verificar que o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (óxido de alumínio) apresenta 25,11% e 14,11% para o solo in natura e o RCC, respectivamente. Esse comportamento dar-se-á devido a afinidade que esse composto químico possui ao carbono orgânico, quando comparado com o óxido de ferro. Os teores de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) obtidos da composição formada pelo pirofosfato, estão relacionados com o pH dos solos e indicam ação do intemperismo, podendo atribuir ao solo alto grau de cimentação, influenciando no ganho de resistência (MARCATTO; SILVEIRA; FONTANA, 2022; ROCHA, 2018).

Quadro 6 - Resultados de análises químicas semiquantitativas

<b>ELEMENTO QUÍMICO</b>	<b>SOLO (%)</b>	<b>RCC (%)</b>
MgO	0,21	1,44
$\text{Al}_2\text{O}_3$	25,41	14,11
$\text{SiO}_2$	45,47	51,72
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,56	1,08
$\text{SO}_3$	0,10	1,16
Cl	N.D.	0,06
$\text{K}_2\text{O}$	0,42	2,92
$\text{CaO}$	0,45	19,37
$\text{TiO}_2$	1,12	1,08
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	0,02	0,03
$\text{MnO}$	0,01	N.D.
$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$	5,01	5,64
$\text{NiO}$	N.D.	0,01
$\text{ZnO}$	N.D.	0,02
$\text{As}_2\text{O}_3$	N.D.	0,01
$\text{Rb}_2\text{O}$	N.D.	0,02
$\text{SrO}$	0,02	0,06
$\text{ZrO}_2$	0,16	0,16
$\text{Nb}_2\text{O}_5$	N.D.	0,01
I	0,03	N.D.
$\text{BaO}$	0,05	0,12
$\text{PbO}$	0,01	N.D.
PF	20,94	1,00
Total	100,00	100,00

Fonte: Autora.

Diante das pesquisas realizadas por Portela *et al.*, (2021) e Nascimento *et al.*, (2019) o RCC é composto, principalmente, por óxido de silício em, aproximadamente, 51,72%, óxido de cálcio (19,37%), óxido de alumínio (14,11%) e óxido de ferro (5,64%), correspondendo aos constituintes do cimento Portland, o que comprova a participação de algumas compostos cimentícios na conformação atômica dos resíduos, auxiliando no ganho de resistência.

O solo tem a predominância de SiO<sub>2</sub> (45,47%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (25,41%) e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5,01%), resultados estes compatíveis aos encontrados nos ensaios de mineralógicos, uma vez que o material é basicamente constituído por quartzo (FONTOURA; COUTINHO; SILVA, 2023).

#### 5.4.2 Ensaio de pH

O potencial hidrogeniônico (pH) do solo está diretamente relacionado com a acidez ou com a alcalinidade do mesmo. O pH abaixo de 7,00, comum na maioria dos solos brasileiros, indica acidez, enquanto pH acima de 7,00, indica basicidade ou alcalinidade. Esse comportamento dar-se-á em solos com fertilidade elevada, especialmente os que apresentam maiores teores de cálcio, magnésio, potássio (MARTINS, 2005).

Na Tabela 13, apresenta os resultados do pH correspondentes as amostras de solo e de RCC em água destilada com uma variação entre 7,34 e 9,43. Em solução com KCl a variação ficou entre 6,82 e 8,96. Assim, constata-se que o solo apresenta um pH considerado de alcalinidade leve a moderada, bem como os compósitos S70R30 e S50R50. A classificação do pH do RCC, em relação a água destilada, foi considerado alcalino.

Tabela 13- Valores de pH em água e KCl das amostras

AMOSTRA	pH EM KCL	pH EM ÁGUA	$\Delta$ pH	CLASSIFICAÇÃO
S100	6,82	7,34	-0,52	Alcalinidade leve à moderada
R100	8,96	9,43	-0,47	Alcalino
S70R30	7,55	7,68	-0,13	Alcalinidade leve à moderada
S50R50	7,87	7,95	-0,08	Alcalinidade leve à moderada

Fonte: Autora.

Foi constatada uma alteração negativa do  $\Delta$ pH em relação a todas as amostras de solo e RCC, indicando a possível presença de sílica e de alumínio, caracterizando um solo mais ácido. Isso também foi confirmado nos ensaios de Fluorescência de Raio X, que revelaram a presença de minerais argilosos ricos em sílica, alumínio e caulinita (EMBRAPA, 2017).

Segundo Santos *et al.*, (2021) os solos da região semiárida com pH neutro tendem a apresentar baixo intemperismo. Entretanto, conforme a classificação do solo em estudo, o mesmo se apresenta como alcalino em condições que variaram entre leve a moderado, caracterizando um

grau maior de intemperismo e degradação. Esse comportamento foi observado nos estudos realizados por Barbosa e Oliveira (2022).

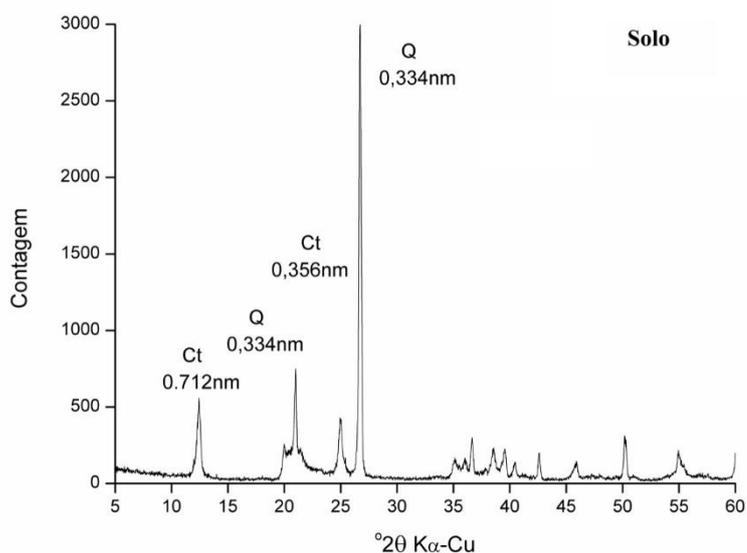
### 5.4.3 Caracterização Mineralógica

Esse tópico apresenta os resultados da caracterização mineralógica através dos ensaios de difração de raio X e Lupa binocular. Os ensaios foram realizados na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), respectivamente.

#### 5.4.3.1 Análise do ensaio de Difração de Raio X

Na análise da mineralogia do solo foi identificado a presença de filossilicatos representado pela caulinita em 0,712nm e 0,356nm e picos de quartzo em 0,334nm. Por se tratar de um solo de formação de barreiras, é comum encontrar minerais como caulinita e quartzo, conforme confirmados no difratograma da Figura 51.

Figura 51 - Difratograma de Raio X do solo



Fonte: Autora.

Legenda:

Bi - Mica Biotita

Fd - Feldspatos (plagioclásios e alcalinos)

Ct - Caulinita

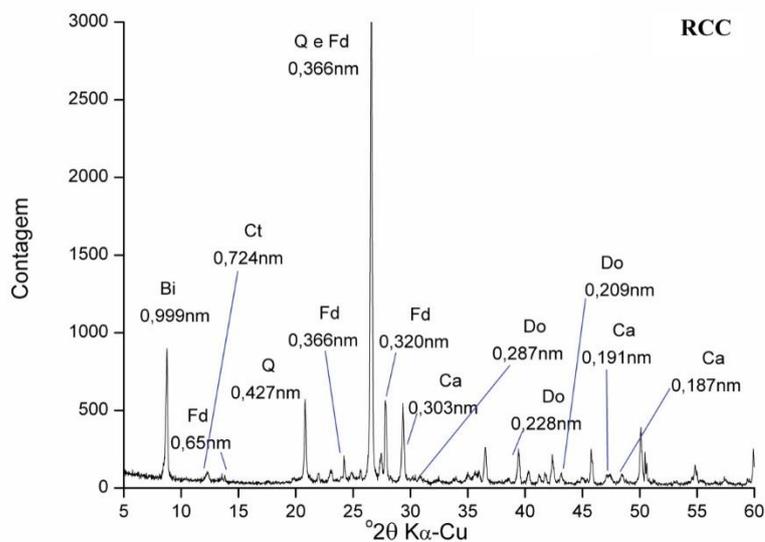
Q - Quartzo

Ca - Calcita

Do - Dolomita

Na mineralogia dos resíduos de construção civil (RCC) na forma de pó não orientado, identificou-se a presença de minerais como quartzo, feldspatos, mica biotita, caulinita, calcita e dolomita. Os picos da difração dos feldspatos, podem ser vistos em 0,65nm; 0,366nm; 0,320nm representados na Figura 52.

Figura 52- Difratoograma de Raio X do Agregado Reciclado



Fonte: Autora.

Legenda:

Bi - Mica Biotita

Fd - Feldspatos (plagioclásios e alcalinos)

Ct - Caulinita

Q - Quartzo

Ca - Calcita

Do - Dolomita

O quartzo foi identificado em 0,427nm e 0,366nm. Filossilicatos como mica biotita e caulinita também foram identificados, com picos de difração em 0,999nm para mica biotita e 0,724nm para caulinita. Por fim, a calcita também foi identificada em 0,303nm; 0,191nm; 0,187nm e a dolomita em 0,287nm; 0,228nm e 0,209nm.

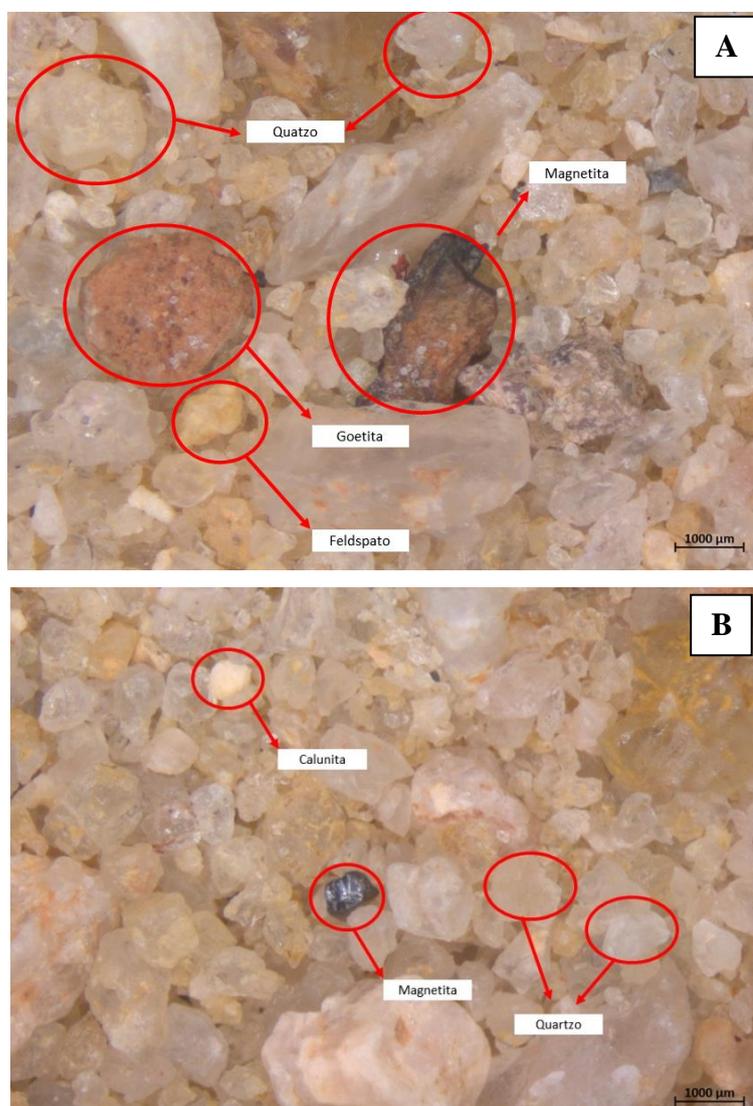
Esses minerais são normalmente encontrados neste tipo de material de resíduo de construção civil, devido a presença da brita e relação com o próprio granito/gnaiss, o cimento e sua relação com calcário e argila, assim como a calcita é largamente utilizada na fabricação do cimento e cal para argamassa (SOUZA; RUDNICK; LUKIANTCHUKI, 2020).

Foi constatado que tanto no solo como no RCC a presença de caulim, que é constituído pela caulinita e quartzo, presentes em ambientes com clima de alta temperatura e umidade com drenagem livre, favorecendo o intemperismo (PEREIRA *et al.*, 2020).

#### 5.4.3.2 Análise com lupa binocular

Na análise mineralógica realizada da amostra fina do solo e dos grãos de RCC com auxílio da Lupa binocular, foi possível identificar a presença de minerais, como o quartzo, feldspato, magnetita, calunita e goetita, como mostra a Figura 53 a e b.

Figura 53- a e b: Análise do solo com lupa binocular

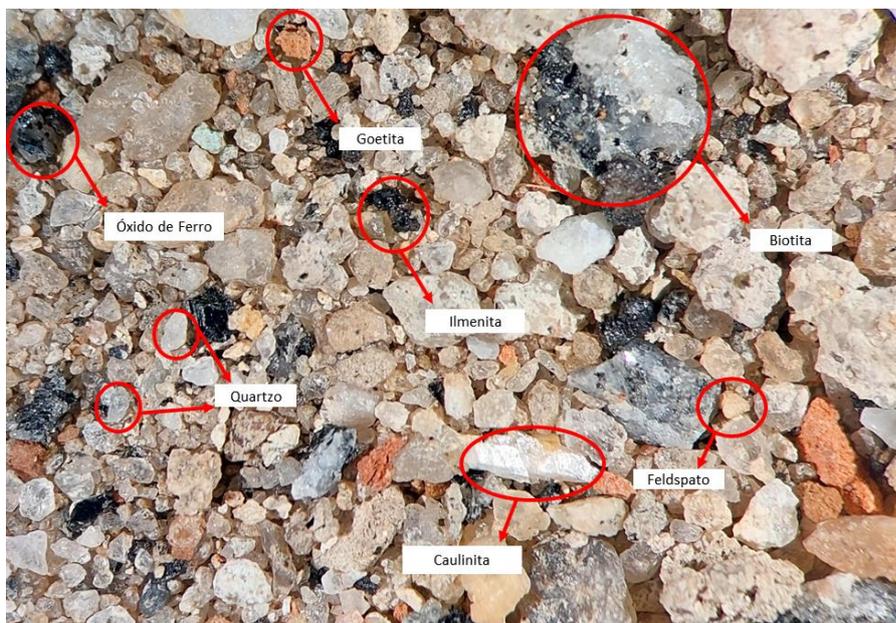


Fonte: Autora.

Os movimentos de massa dos solos são provenientes da ação do intemperismo. O mineral quartzo é encontrado em grande quantidade nas rochas naturais, por isso é constituído de um material muito resistente as intempéries, além de ser comum ser identificado na maioria dos solos com característica arenosa (FONTOURA; COUTINHO; SILVA, 2023; PORTELA, 2019).

Na análise dos grãos de RCC (Figura 54), observou-se a ocorrência dos minerais como quartzo, caulinita, óxido de ferro, goetita, feldspato, biotita e ilmenita. A caulinita pode ser identificada nos resíduos de materiais cerâmicos, pois é o principal constituinte do mineral caulim, assim como o feldspato (NASCIMENTO *et al.*, 2019).

Figura 54- Análise mineralógica do RCC com lupa binocular



Fonte: Autora.

O feldspato encontrado, possui uma característica de mais instabilidade ao processo do intemperismo. Também foram identificados grãos de quartzo brilhantes e materiais laterizados impregnados de óxidos de ferro (FONTOURA; COUTINHO; SILVA, 2023; SANTOS *et al.*, 2021). Em geral, os formatos dos grãos foram subangulosos a subarredondados, pouco esférico, transparente, leitoso e avermelhado.

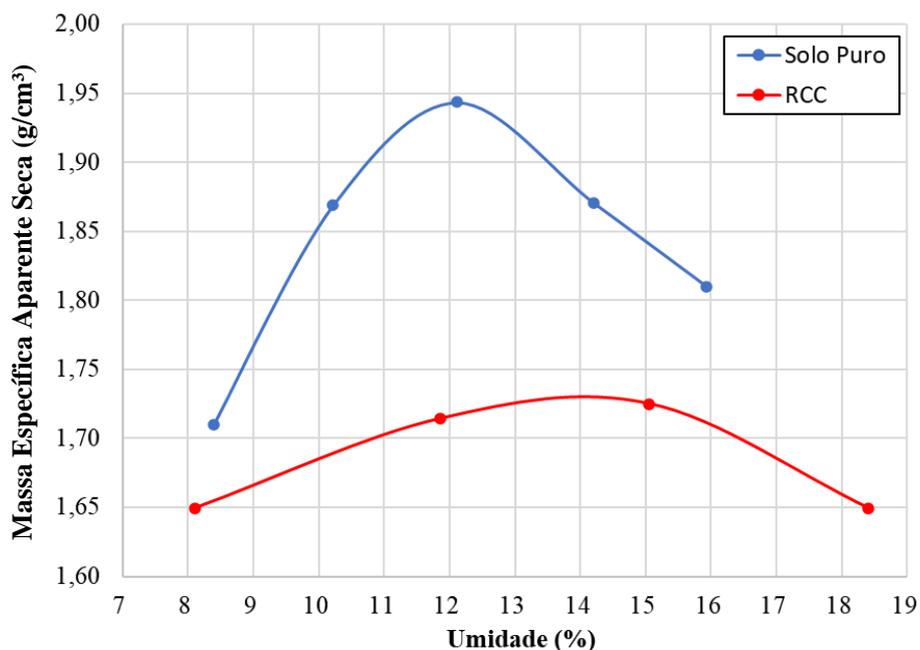
## 5.5 Caracterização Mecânica

Este tópico mostra os resultados da caracterização mecânica dos materiais e compósitos, através dos ensaios de compactação, resistência ao cisalhamento e da resistência à compressão simples.

### 5.5.1 Compactação

As curvas de compactação do RCC e do solo estão representadas na Figura 55. O solo em estudo apresenta uma massa específica seca máxima de  $1,943 \text{ g/cm}^3$  e uma umidade ótima de 12,10%. Já o RCC possui uma massa específica seca máxima de  $1,743 \text{ g/cm}^3$  e uma umidade ótima de aproximadamente, 14%.

Figura 55 - Curva de compactação do solo e RCC



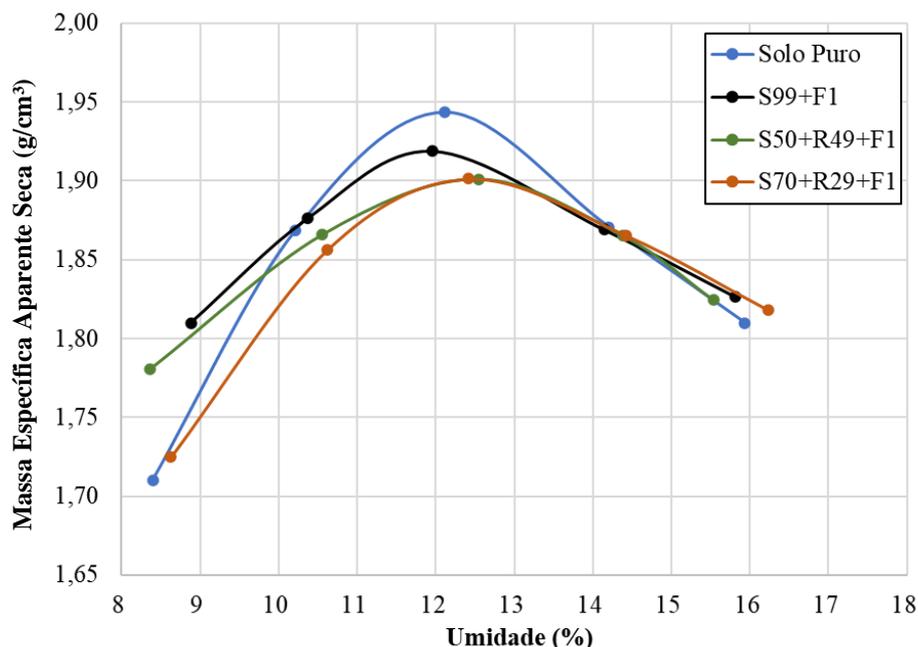
Fonte: Autora.

Os resultados obtidos corroboram com as análises realizadas por Nascimento *et al.*, (2019) e Almeida (2021), dos quais avaliaram o comportamento dos diferentes tipos de compósitos e verificaram que a umidade ótima variou entre 12,23% e 12,69%, bem com a massa específica seca que variou entre  $1,790 \text{ g/cm}^3$  e  $1,89 \text{ g/cm}^3$ .

Na Figura 56, verifica-se que houve um aumento da umidade ótima e uma redução na massa específica seca máxima do solo. O compósito S50R49F1 apresentou umidade ótima de 12,60% e massa específica seca máxima de  $1,9 \text{ g/cm}^3$ . A amostra S70R29F1 apresentou umidade ótima

e massa específica seca máxima de 12,40% e 1,902 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, corroborando com os resultados obtidos por Santos (2019).

Figura 56 - Curva de compactação (S99 F1; S50 R49 F1; S70 R29 F1)



Fonte: Autora.

Na Figura 57, observa-se a curva de compactação dos materiais com adição de fibra. Verifica-se que houve um aumento da umidade ótima e uma redução na densidade seca máxima do solo. O compósito S70R28,5F1,5 apresentou umidade ótima de 14% e densidade seca máxima de 1,86 g/cm<sup>3</sup>, corroborando com os resultados de Abbaspour, Aflaki e Moghadas Nejad (2019), que indica uma redução na massa específica seca máxima do compósito e que pode estar associada à fibra, pois apresenta menor peso específico. Alguns autores afirmam também que as fibras misturadas em solo diminuem a massa específica seca máxima e aumentam a umidade ótima (VALIPOUR; SHOURIJEH; MOHAMMADINIA, 2021; SANTOS, 2020; TRAN; SATOMI; TAKAHASHI, 2018)

A amostra S50R48,5F1,5 apresentou umidade ótima e densidade seca máxima de 13,3% e 1,87g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, corroborando com os resultados obtidos por Lucarelli (2018), que justifica o comportamento em virtude da ocupação por elementos menos densos como as fibras, em relação aos vazios que seriam preenchidos por grãos do solo como mostra a Tabela 14.

Tabela 14- Umidades ótimas e massa específica seca dos materiais e compósitos

AMOSTRA	Wot (%)	$\gamma$ sec max (g/cm <sup>3</sup> )
Solo	12,10%	1,94
RCC	14%	1,74
S99 F1	12%	1,91
S50 R49 F1	12,60%	1,9
S70 R29 F1	12,40%	1,92
S98,5 F1,5	13,20%	1,86
S50 R48,5 F1,5	13,30%	1,87
S70 R28,5 F1,5	14%	1,86

Fonte: Autora.

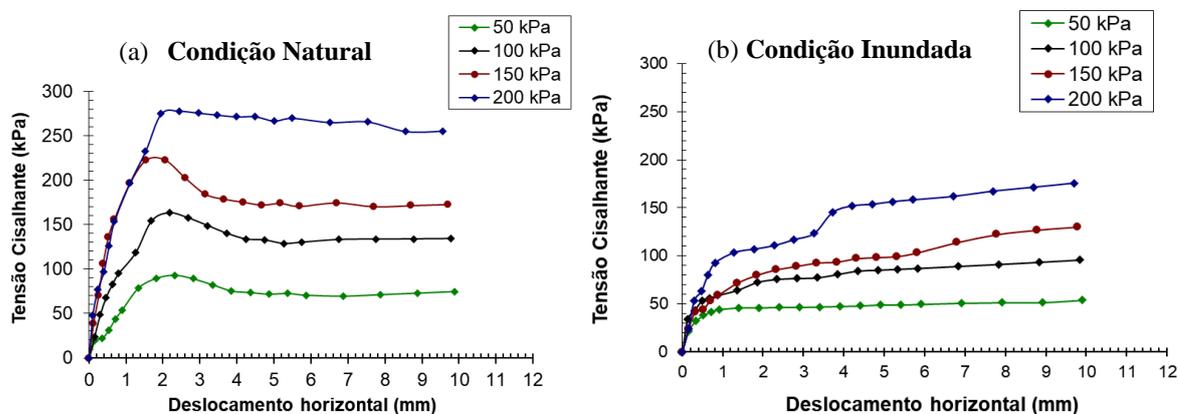
### 5.5.2 Resistência ao cisalhamento direto

O ensaio de cisalhamento direto convencional foi realizado em condições de umidade natural e saturada. A Figura 58 a e b apresenta as curvas de Tensão Cisalhante (kPa) x Deslocamento Horizontal (mm) e curvas de Deslocamento Vertical (mm) x Deslocamento Horizontal (mm).

No ensaio na condição natural (Figura 57a), observou-se tensões crescentes bem definidas nas curvas de tensão cisalhante x deslocamento horizontal, onde no deslocamento de 2mm apresentou um pico de resistência e após este deslocamento, apresentaram-se tensões decrescentes até 4mm. Após esse comportamento, todas as tensões permaneceram constantes.

No ensaio da condição inundada (Figura 57b), verificou-se um comportamento constante na tensão cisalhante de 50kPa. Nas demais tensões de 100kPa, 150kPa e 200kPa, os compósitos apresentaram uma leve tendência ao crescimento por apresentar menor rigidez na amostra.

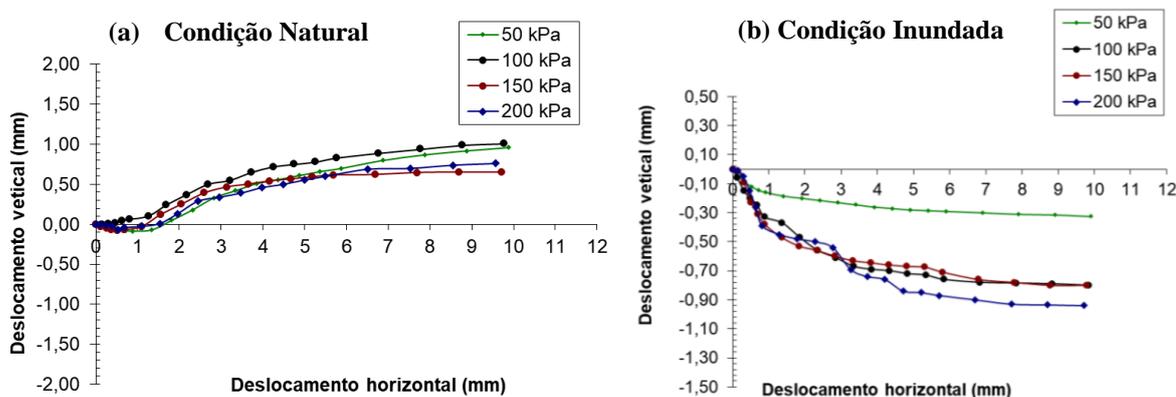
Figura 57 - Curvas de Tensão Cisalhante x Deslocamento horizontal - condição natural (a) e condição inundada (b)



Fonte: Autora.

Na Figura 58a, na condição natural, observa-se que o solo apresenta comportamento de expansão, aumentando seu volume, quando submetidos as tensões 50kPa, 100kPa, 150kPa e 200kPa ao longo do deslocamento de 10mm. Na condição inundada (Figura 58b), todas as curvas apresentaram comportamento de compressão.

Figura 58 - Curvas de Deslocamento Vertical X Deslocamento horizontal - condição natural (a) e condição inundada (b)

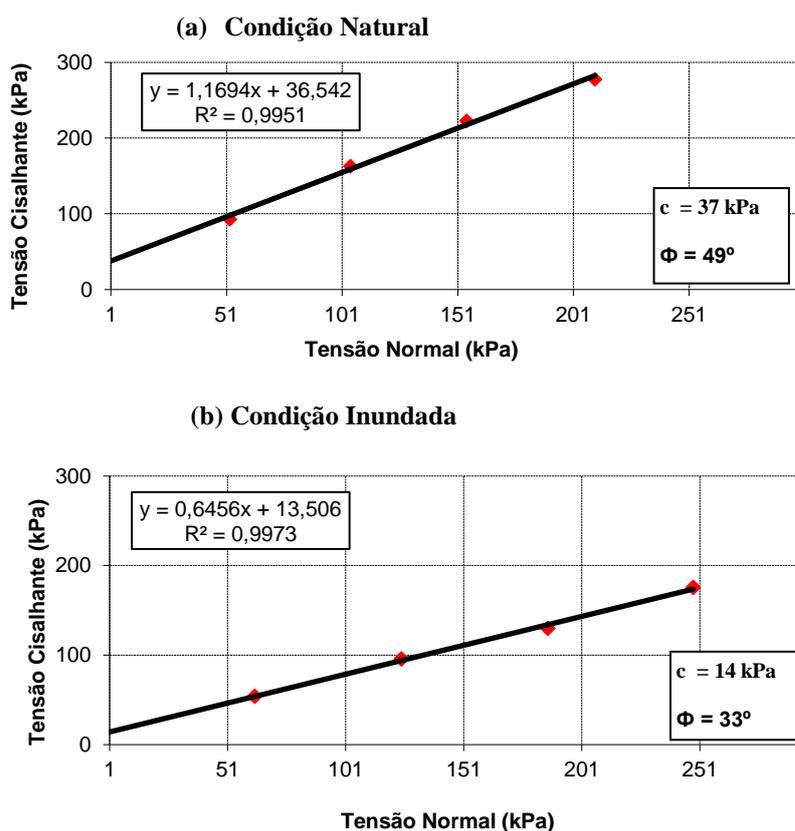


Fonte: Autora.

A análise da relação entre a resistência ao cisalhamento e a erodibilidade é considerada como parâmetro essencial na abordagem geotécnica, a fim de melhor compreender a potencialidade de erosão hídrica nos crescentes casos de instabilidade de taludes (LAFAYETTE *et al.*, 2006).

A Figura 59 a e b apresenta as envoltórias de resistência, que demonstram que no solo na condição natural tem uma coesão de 37kPa e o ângulo de atrito ( $\phi$ ) de 49°, enquanto na condição inundada apresentou uma queda na coesão e no ângulo de atrito, passando a ser de 14 kPa e o ângulo de atrito ( $\phi$ ) de 33° respectivamente, mostrando uma perda de resistência.

Figura 59 a e b - Envoltória de resistência dos cisalhamentos diretos: natural e inundada



Fonte: Autora.

A Tabela 15 mostra os parâmetros de resistência ao cisalhamento das amostras analisadas.

Tabela 15- Resultado dos ensaios de cisalhamento

CONDIÇÃO	TENSÃO	C (kPa)	$\Phi$ (°)
Natural	50	37	49°
	100		
	150		
	200		
Inundada	50	14	33°
	100		
	150		
	200		

Fonte: Autora.

A Tabela 16 apresenta parâmetros de resistência de solos semelhantes a área de estudo.

Tabela 16- Parâmetros de resistência ao cisalhamento de solos provenientes da Formação de Barreiras

LOCAL	CONDIÇÃO	e(kPa)	$\Phi$ (°)	REFERÊNCIA
<b>Cabo de Santo Agostinho</b>	Natural	33-56	33-36	Lafayette <i>et al.</i> , (2006)
	Inundado	1,5-1,8	33-35	
<b>Camaragibe</b>	Natural	13-27	30-35	Magalhães (2013)
	Inudando	3,3-8,7	30,32	
<b>Recife</b>	Natural	1-27	28-36	Coutinho, Morais e Oliveira (2020)
	Inundado	0-9,0	23-36	
	Natural	10,53	34,40	Foutoura, Coutinho e Morais (2021)
	Natural	2,00	40,48	
<b>Ilha de Itamaracá</b>	Natural	44,67	35	Bezerra (2022)
	Inundado	8,33	30	
<b>Maceió</b>	Natural	92	40 - 33	Santos, Coutinho (2022)
	Inundado	18	34 - 38	
<b>Recife</b>	Natural	37	49	Silva, (2023)
	Inundado	14	33	

Fonte: Autora.

### 5.5.3 Resistência à Compressão Simples

O ensaio de resistência à compressão simples (RCS) foi realizado para determinar o comportamento das curvas de tensão (kPa) x deformação axial (mm).

A Tabela 17 apresenta os resultados para os materiais e compósitos com incorporação de fibra de bambu nos percentuais de 1%, 1,5% e RCC. Vale ressaltar, que a deformação máxima aplicada a todos os corpos de prova (CP) foi de 15mm.

Tabela 17- Resistência à compressão simples

IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS	7 DIAS	28 DIAS
	(kPa)	(kPa)
Solo	148	177
RCC	167	224
S50R50	83	126
S70R30	146	169
S99F1	308	374
S50R49F1	113	169
S70R29F1	207	228
S98,5F1,5	249	264
S50R48,5F1,5	155	161
S70R28,5F1,5	204	204

Fonte: Autora.

Para os resultados de resistência a compressão simples (RCS) máxima, obtidos através dos compósitos de solo-RCC-fibra, foi observado um acréscimo de resistência na maioria dos compósitos ao longo dos tempos de cura, resultados estes compatíveis com Portela *et al.*, (2021) e Pedrosa (2021), enquanto os compósitos S50R50 e S70R30 obtiveram uma redução de 44% e 1,35%, respectivamente.

Aos 7 dias de cura, a RCS dos compósitos variou entre 83kPa e 249kPa, os compósitos S99F1 e S98,5F1,5 obtiveram os melhores resultados de resistência em relação ao solo obtendo valores de 148 kPa e, dentre esses compósitos, a maior resistência foi alcançada para o compósito S99F1, que atingiu o valor de 308kPa, proporcionando um ganho de resistência de 108% quando comparado ao solo puro. Já o compósito S98,5F1,5 apresentou o segundo melhor desempenho, apresentando valor de 249 kPa com o ganho de resistência de, aproximadamente, 68%.

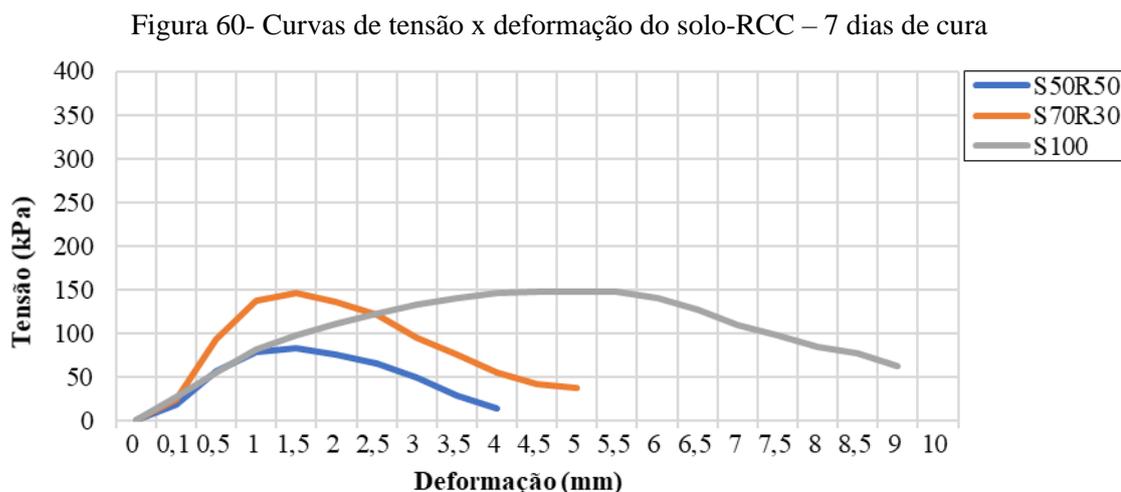
Lopes e Casagrande (2019), observaram que os compósitos com adição de fibras naturais tiveram um ganho de resistência. Para tanto, foi observado que os compósitos contendo 1% de fibra obtiveram ganhos mais elevados de resistência em, aproximadamente, 250% maior que o solo puro. Já os compósitos contendo um percentual adicionado de 0,5% de fibra obtiveram ganho de 160%, quando comparado ao solo puro.

Aos 28 dias de cura, a RCS dos compósitos dos compósitos S99F1 e S98,5F1,5 obtiveram os maiores valores resistência. O compósito S99F1, atingiu o valor de 374kPa, com incremento na resistência de 152%, em relação ao solo puro.

Lima *et al.*, (2019) utilizou a fibra de bambu na produção de bloco de concreto. Os resultados obtidos mostraram que as fibras melhoraram o comportamento mecânico do material, pois os blocos sem reforço apresentavam, aos 28 dias, resistência à compressão simples de 25,8MPa e o reforçado com a fibra de bambu atingiu 28,6MPa, com um incremento de 14,7% na resistência.

As curvas de tensão e deformação dos compósitos reforçados com RCC, nas idades de ruptura de 7 dias, estão representadas na Figura 60, onde se observa a resistências inferiores ao solo. Esses resultados corroboram com os dados obtidos por Santos (2020) e Portela (2019).

Os compósitos em análise possuem um comportamento semelhante em relação ao ponto de ruptura, ambos com deslocamentos de 1,3mm, porém apresentam menor resistência que o solo puro, o qual rompeu com a deformação 5,5 mm.



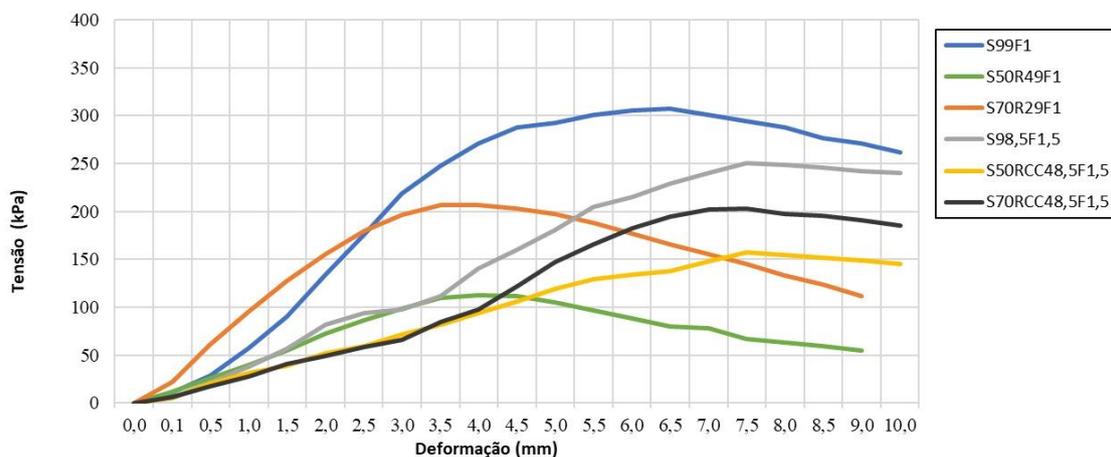
Fonte: Autora.

É observado também que, ao aumentar o teor de RCC, houve uma redução da deformabilidade total do compósito, o que manteve a resistência para uma incorporação de 30%, porém quando esse teor aumentou para 50% houve também uma queda de cerca de 50% do valor da resistência à compressão simples.

Nos compósitos reforçados com fibra (Figura 61), apresentaram desempenho variáveis, com pontos de rupturas diferentes ao longo de 10mm de deformação, com destaque para o compósito S99F1, que obteve pico de tensão máximo superando os 300kPa. Nos compósitos reforçados

por fibras a 1,5%, as curvas de tensão seguiram um padrão, atingindo o pico de ruptura no deslocamento de 7,5mm em diferentes tensões.

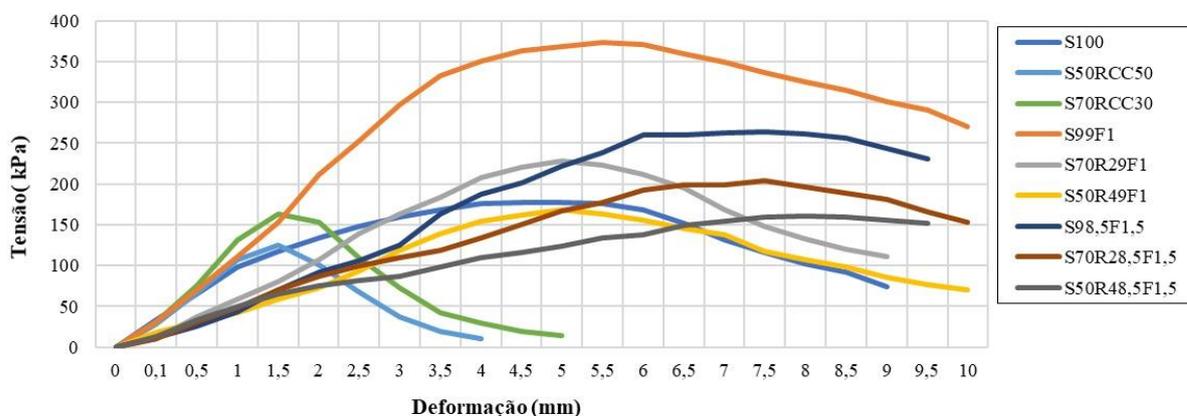
Figura 61- Curvas de tensão x deformação dos compósitos de solo-RCC-Fibra de bambu para 7 dias de cura



Fonte: Autora.

Aos 28 dias de cura (Figuras 62), a RCS dos compósitos reforçados com RCC apresentaram um acréscimo na resistência ao longo da deformação de 10mm, destacando apenas os compósitos S70R29F1 e S99F1, que obtiveram valores de 51% e 152% em relação a resistência do solo puro, corroborando com os resultados de Macedo (2013), Pedrosa, (2021).

Figura 62- Curvas de tensão x deformação dos compósitos de solo-RCC-Fibra de bambu - 28 dias de cura com fibra

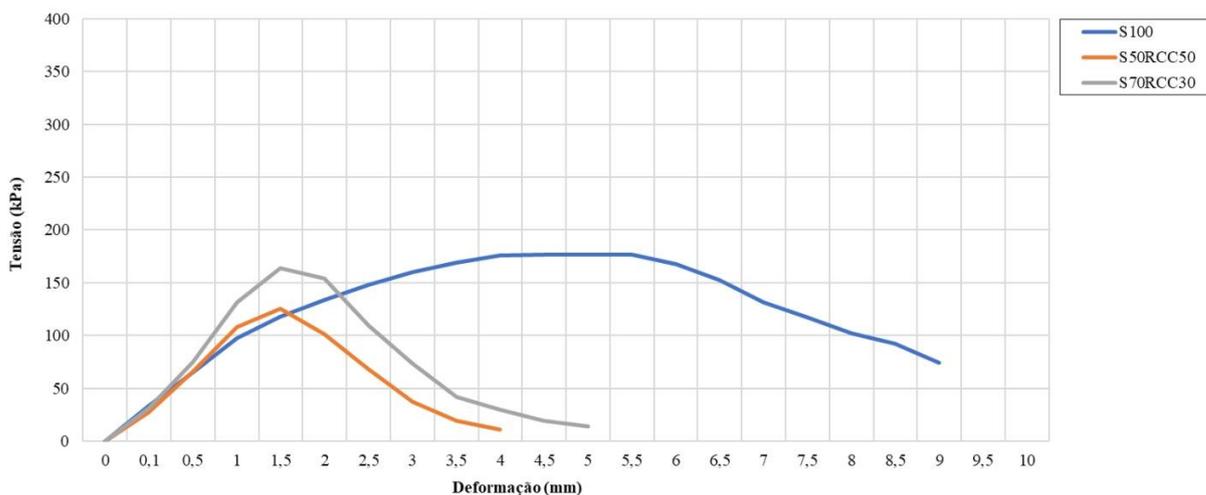


Fonte: Autora.

Verifica-se na Figura 63 que à medida em que aumenta o percentual do RCC, ocorre uma redução quanto a deformabilidade total do compósito, atingindo seu pico entre o deslocamento

de 1,25 mm e 1,75 mm, o que pode ser um indicativo de que esse comportamento tenha possibilidade de se reverter caso a análise fosse realizada em tempos de cura superiores aos 28 dias, da mesma forma que foi identificado nos estudos de Santos (2020) e Silva *et al.*, (2021).

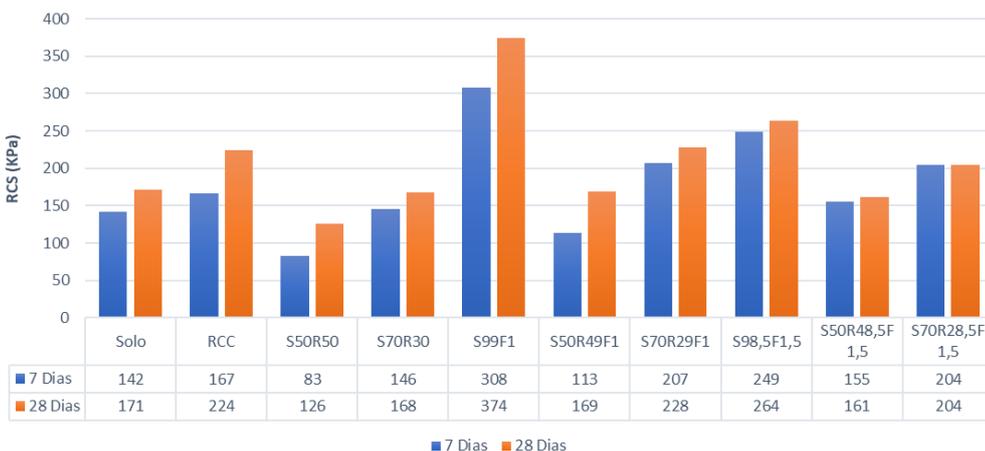
Figura 63- Curvas de tensão x deformação dos compósitos de solo-RCC-Fibra de bambu - 28 dias de cura sem fibras



Fonte: Autora.

A Figura 64 apresenta os resultados das resistências à compressão simples dos materiais e compósitos. Observa-se que, na maioria dos compósitos reforçados com fibras, houve aumento da RCS referente à idade de ruptura das amostras, tais resultados estão compatíveis com Santos (2020), Lima *et al.*, (2019), Ordoñez Muñoz *et al.* (2021), e Pedrosa (2021). Este ganho de resistência pode ter sido influenciado pelos seguintes fatores, tais como: aumento da sucção nos contatos, formação de cimentações ou até mesmo perda de umidade.

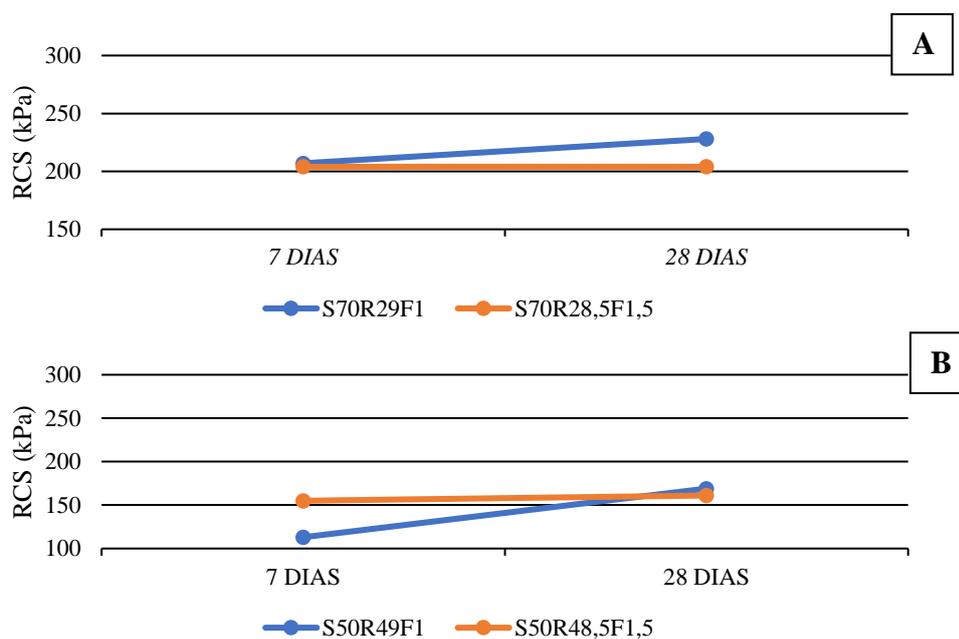
Figura 64- Resultado da Resistência à compressão simples



Fonte: Autora.

Nos compósitos com adição de RCC e fibra, para os 7 dias de cura os valores de resistência variaram entre 113 kPa e 228 kPa, enquanto para 28 dias de cura a variação foi de 155kPa e 204 kPa, conforme apresentado na Figura 65 a e b. O compósito S70R28,5F1,5, atingiu o valor de 228kPa aos 7 dias de cura, com incremento na resistência de 54%, em relação ao solo puro.

Figura 65 a e b - Crescimento percentual da RCS dos compósitos com RCC e fibra



Fonte: Autora.

Na idade de ruptura de 28 dias, os resultados apresentaram variação de 169kPa a 374 kPa e o compósito que apresentou o maior incremento de resistência foi o de S99F1, aumentando a RCS em 152% comparado ao solo puro.

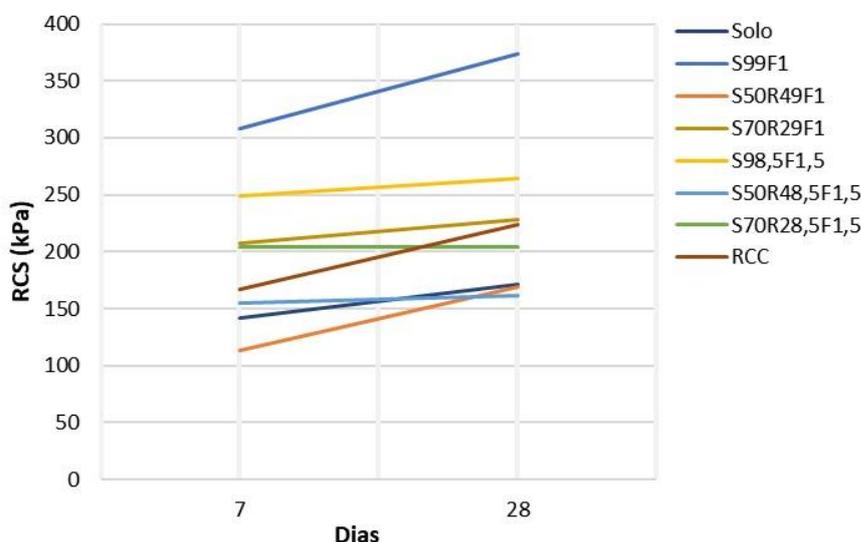
Nos resultados de RCS, foi evidenciado que os compósitos reforçados com RCC tiveram desempenho inferior quando comparados com o solo em seu estado natural. Esse comportamento foi identificado para o compósito S70R30 no estudo de Portela et al., (2021), onde avaliou a influência da inclusão da parcela de granulometria fina do RCC e cal para estabilizar um solo erosivo do município de Itamaracá-PE.

Na Figura 66, observa-se que o acréscimo da fibra de bambu ao solo no compósito S99F1 em relação aos compósitos S50R49F1 e S70R29F1, aumentou respectivamente em 100% e 200%

os valores de resistência à compressão do solo. Além disso, verificou-se que a fibra aumentou a resistência dos compósitos em substituição ao RCC (S70R30 e S50R50). Esse comportamento corrobora com os estudos realizados por Freitas *et al.*, (2018), pois utilizaram um percentual de 1% de fibra natural ao solo.

Conforme as análises realizadas, à medida que o teor de RCC diminui de 49% para 29% nos compósitos, ocorre um aumento no valor da RCS, com o tempo de cura para 28 dias. Tal fato pode ser indicativo de que havendo tempos maiores de cura esse comportamento pode se elevar ou reverter, conforme identificado no trabalho de Silva *et al.*, (2021).

Figura 66 - Crescimento da RCS dos compósitos de solo-RCC-fibra ao longo dos 7 e 28 dias

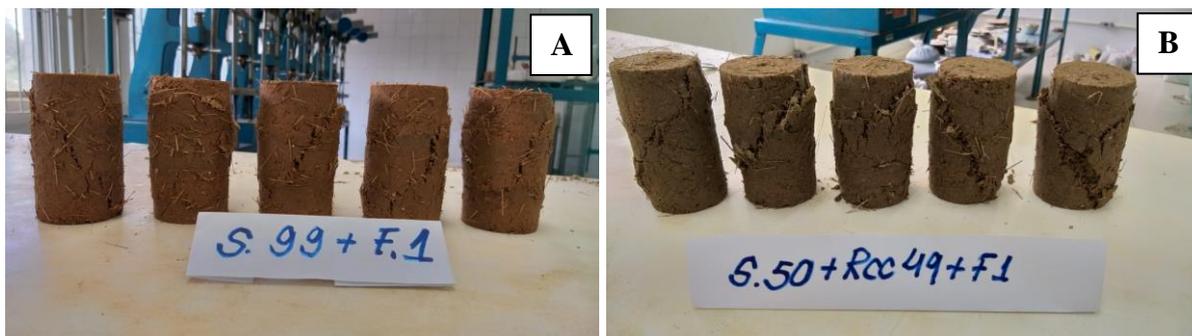


Fonte: Autora.

### 5.5.3.1 Deslocamento Axial

Durante a execução do ensaio de resistência à compressão simples, identificou-se um deslocamento axial dos corpos de prova (CP) ao ser aplicada a carga (Figura 67 a e b). Entretanto, em geral não foram observadas falhas na estrutura do compósito reforçado com e sem fibras para os tempos de cura de 7 e 28 dias, corroborando com os resultados de Santos (2020).

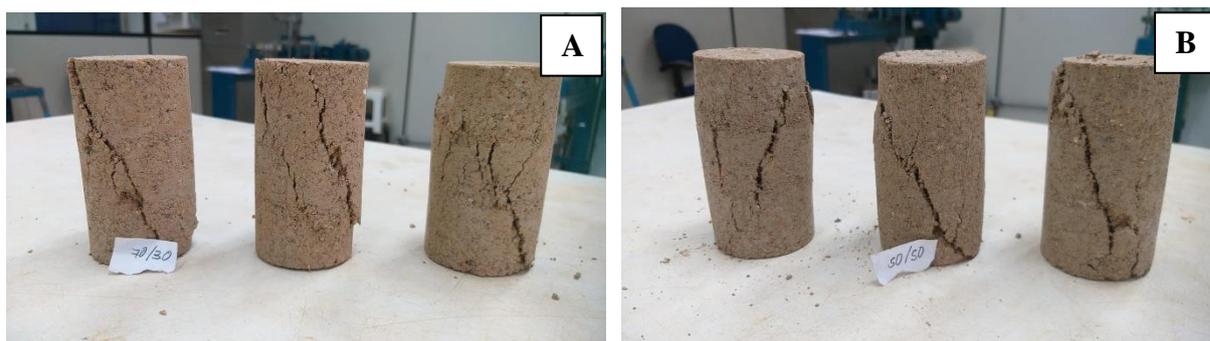
Figura 67- a e b: Corpos de prova do compósito S99F1 e S50R49F1 após ruptura



Fonte: Autora.

Enquanto a matriz de solo com RCC apresentou comportamento frágil (Figura 68 a e b), as amostras reforçadas com fibra apresentaram um comportamento dúctil, com uma fragilidade muito menos aparente, isso atestando os estudos de Santos (2021) e Motta (2018).

Figura 68- Corpos de prova dos compósitos S50R50 S70R30



Fonte: Autora.

### 5.5.3.2 Análise estatística dos resultados do RCS

De forma a analisar a viabilidade e possível maximização da resistência à compressão simples (RCS) na confecção dos compósitos de solo, resíduos da construção civil (RCC) e fibra de bambu em determinado tempo de cura (TC), foi necessário a formulação de um modelo estatístico que descreva o comportamento de interação com a RCS. A Tabela 18 apresenta o intervalo das variáveis independentes do estudo.

Tabela 18- Parâmetros e intervalos das variáveis

<b>PARÂMETRO</b>	<b>INTERVALO</b>
Teor de RCC	0% a 50%
Teor de Fibra de Bambu	0% a 1,5%
Tempo de Cura (TC)	7 a 28 dias

Fonte: Autora.

Além da garantia de qualidade na obtenção dos valores das variáveis independentes e os resultados à variável de resposta (RCS), também é necessário realizar pré-análises em função das interações das variáveis de seus quadrados, pois, segundo Myers, Montgomery e Anderson-Cook (2009), isto é primordial para se obter sucesso na formulação de um modelo estatístico para a metodologia RSM.

Uma vez que a confiabilidade dos dados foi estabelecida através do controle tecnológico, efetuado na fase de produção dos corpos de prova, é possível delinear as possibilidades de interações entre as variáveis independentes e a resposta obtida em função dessas interações, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19- Interações entre as variáveis em função da RCS

<b>RCC (%)</b>	<b>FIBRA DE BAMBU (%)</b>	<b>SOLO (%)</b>	<b>TC (DIAS)</b>	<b>RCS (KPA)</b>
0,0	0,0	100	7	147,357
0,0	1,0	99		307,233
0,0	1,5	98,5		250,316
100,0	0,0	0		167,0
50,0	0,0	50		82,532
49,0	1,0			112,333
48,5	1,5			157,073
30,0	0,0	70		145,441
29,0	1,0			206,967
28,5	1,5			203,18
0,0	0,0	100	28	176,829
0,0	1,0	99		373,344
0,0	1,5	98,5		264,0
100,0	0,0	0		224,0
50,0	0,0	50		126,0
49,0	1,0			168,198
48,5	1,5			161,0
30,0	0,0	70		167,198
29,0	1,0			227,963
28,5	1,5			204,0

Fonte: Autora.

Desta forma, foi possível verificar a configuração que garantisse com máxima precisão o comportamento da variável de resposta. De todas as combinações de interação, a variação do parâmetro alfa (ANOVA) indicou melhor resultado de regressão para as variáveis RCC, FIBRA, TC, RCC\*RCC, FIBRA\*FIBRA, RCC\*FIBRA, RCC\*TC e FIBRA\*TC. A Tabela 20 mostra os resultados fornecidos pelo *software* de análise estatística Minitab, diante dos critérios de aceitação estabelecidos.

Os indicadores de análise para o método RSM (*DF*, *Adj SS*, *Adj MS* e *Valor-F*) representam medidas da amplitude de variação do modelo e exprimem a interferência em que as variáveis independentes dispõem sobre a RCS e são fundamentais para aferir a aceitação e o nível de significância do modelo.

Tabela 20- ANOVA das variáveis independentes

<b>FONTE DE VARIACÃO</b> ( <i>SOURCE</i> )	<b>GRAUS DE LIBERDADE</b> ( <i>DF</i> )	<b>SOMA DOS QUADRADOS AJUSTADA</b> ( <i>ADJ SS</i> )	<b>QUADRADOS MÉDIOS AJUSTADOS</b> ( <i>ADJ MS</i> )	<b>VALOR-F</b> ( <i>F-VALUE</i> )	<b>VALOR-P</b> (NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA) ( <i>P-VALUE</i> )
Modelo ( <i>Model</i> )	8	74203,8	9275,47	7,10	0,002
Linear ( <i>Linear</i> )	3	16884,1	5628,02	4,31	0,031
RCC	1	4043,9	4043,89	3,10	0,106
FIBRA	1	513,3	513,33	0,39	0,543
TC	1	3986,8	3986,84	3,05	0,108
Quadrados ( <i>Square</i> )	2	16349,5	8174,75	6,26	0,015
RCC*RCC	1	8439,2	8439,21	6,46	0,027
FIBRA*FIBRA	1	8815,4	8815,41	6,75	0,025
2-Way <i>Interaction</i>	3	4801,9	1600,65	1,23	0,346
RCC*FIBRA	1	4271,2	4271,18	3,27	0,098
RCC*TC	1	31,60	31,60	0,02	0,879
FIBRA*TC	1	381,8	381,76	0,29	0,599
Erro ( <i>Error</i> )	11	14362,2	1305,65	-	-
Total	19	88566,0	-	-	-

Fonte: Autora.

Os resultados das interações indicam um comportamento mediano, em relação a aderência ao modelo, pois, apresentou metade dos índices do Valor-P acima de 0,05, indicativo de fragilidade e inadequação para o modelo segundo Myers, Montgomery e Anderson-Cook (2009). Este resultado, pode ser justificado devido a falta de uniformidade na variação da RCS apresentada por alguns compósitos a medida que a variável TC era incrementada nas análises.

Os resultados para a regressão do modelo são apresentados na Tabela 21 com a sintetização do modelo estatístico, com as combinações e análises de variância (ANOVA).

Tabela 21- Modelo sintetizado

<i>S</i>	<b>R<sup>2</sup> (MODELO)</b> <i>R-SQ</i>	<b>R<sup>2</sup> AJUSTADO</b> <b>(MODELO)</b> <i>R-SQ(ADJ)</i>	<b>R<sup>2</sup> PREVISTO</b> <b>(MODELO)</b> <i>R-SQ(PRED)</i>
36,1338	86,78%	71,99%	45,72%

Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados de regressão refletem os valores elevados encontrados para o Valor-P de algumas das variáveis, pois foram comprometidos em função dos valores de aceitação recomendados. Quando analisado de forma individualizada o valor do R<sup>2</sup> encontrado (86,78%), expressa um bom grau de representatividade para prever o comportamento da RCS, para estudos dessa natureza. Porém, como somente um bom valor para o R<sup>2</sup> não é suficiente para determinar a validade do modelo, os valores de R<sup>2</sup> Ajustado (71,99%) e do R<sup>2</sup> Previsto (45,72%) apresentaram patamares baixos em relação ao recomendado nos estudos de Myers *et al.* (2009), Güllü e Fedakar (2017) e Silva *et al.* (2021).

A diferença percentual entre os valores de R<sup>2</sup> Ajustado e o R<sup>2</sup> Previsto não devem ultrapassar 20%, entretanto o obtido foi de 36,49%, valor que fica acima do recomendado no estudo de DeLoach e Ulbrich (2007). A Equação 1 mostra o resultado da regressão polinomial do modelo, fundamentado para a otimização da variável de resposta.

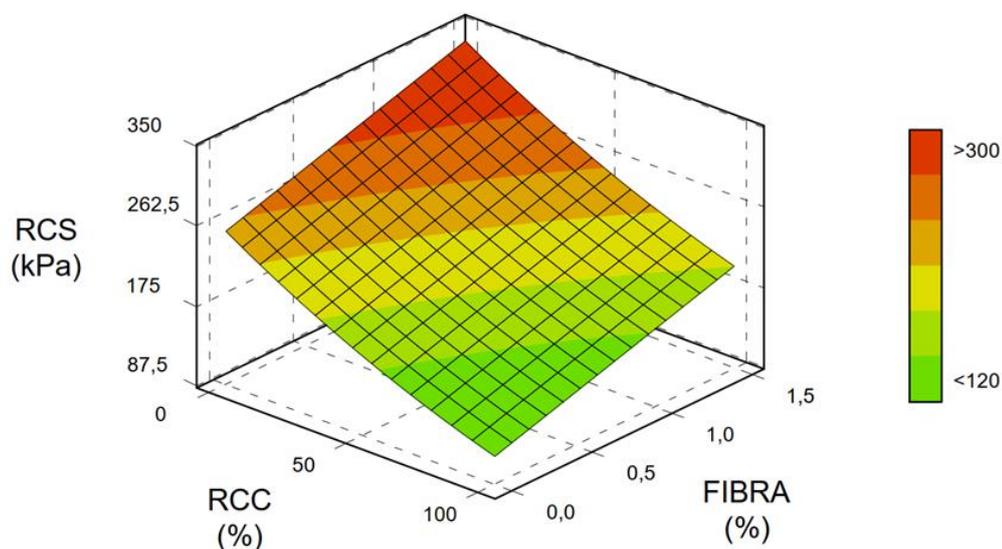
Equação 1- Equação de regressão em unidades não codificadas

$$\mathbf{RCS} = \mathbf{143,0 - 2,35 \times RCC + 191,2 \times FIBRA + 2,03 \times TC + 0,0256 \times RCC^2 + 65,7 \times FIBRA^2 - 1,619 \times RCC \times FIBRA + 0,0051 \times RCC \times TC + 0,37 \times FIBRA \times TC}$$

Fonte: Autora.

O polinômio foi então utilizado para delinear a superfície de respostas do modelo em função dos materiais compósitos (Figura 69), que gráfico 3D do comportamento da RCS em função dessas variáveis independentes, sendo de fundamental importância para realizar a otimização do sistema.

Figura 69 - Superfície de resposta para o modelo quadrático, em função das variáveis RCC e FIBRA



Fonte: Autora.

Definida a superfície de resposta se deu início a fase de otimização do teor de mistura dos compósitos. Essa análise foi realizada de forma que o valor da RCS seja maximizado em função das variáveis independentes. Esse procedimento é de fundamental importância para análises que envolvam manufatura de produtos, como é o caso da moldagem de corpos de prova em estudos de solo, pois torna possível definir os teores “ideais” de incorporação dos materiais, bem como seu tempo de cura (TC).

O resultado da otimização do modelo, de forma a maximizar o valor da RCS está apresentado na Tabela 22.

Tabela 22- Teor de formação do compósito para otimização da RCS máxima

<b>VARIÁVEIS (VARIABLE)</b>	<b>DEFINIÇÕES (SETTING)</b>
RCC (%)	0,0
FIBRA (%)	1,5
TC (DIAS)	28
RCS (kPa)	354,5

Fonte: Autora.

Apesar da análise de otimização ter sido realizada com base em resultados para a RCS, foi identificado valores máximos do intervalo para as variáveis TC e FIBRA. Tal resultado foi identificado de forma similar para as análises realizadas por Pedrosa (2021), que apresentou

valores máximos para o TC em seu estudo de otimização para compósitos com incorporação de fibra de PET e resíduos de construção civil.

Essa tendência de crescimento serve com indicativo de correlação e variancia positivas em relação ao comportamento da RCS, quase que assumindo uma relação linear positiva tanto para o TC quanto para o teor de fibra, ou seja, a medida que se elevam o tempo de cura e o teor de fibra de bambu, o valor da RCS também tende a ter um acréscimo.

Contudo, apesar de apresentar resultados que influenciam o incremento do teor de fibra e aumento da quantidade do tempo de cura o mesmo não foi evidenciado para o teor de RCC, que apresentou o seu teor de otimização em 0% de incorporação.

Por esse motivo, indentifica-se que a relação da variável RCC com a RCS, é semelhante ao formato de uma equação polinomial com crescimento negativo, ou seja, a medida que o teor do compósito aumenta existe uma tendência elevada de redução do valor da RCS.

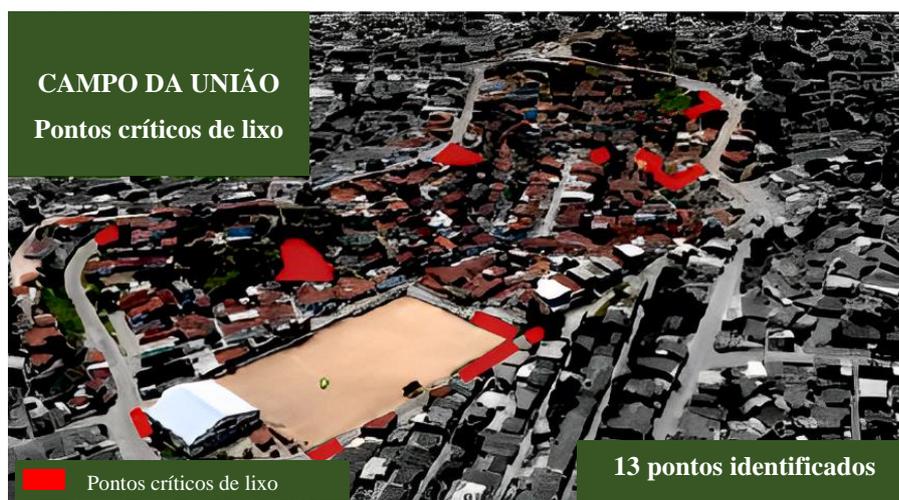
### **5.5.3.3 Conscientização Ambiental**

Os fenômenos naturais como alagamentos e deslizamentos de terra em áreas de risco são agravados pelas ações antrópicas, pois contribuem com a diminuição da vegetação, cortes irregulares de taludes e construção de moradias em áreas de risco (SANTOS, 2020). Por esta razão, as ações de conscientização ambiental são de grande importância e necessárias no combate a estas ações que tanto impactam de forma negativa o meio ambiente.

Recife em 2020, implantou ações de conscientização ambiental na área em estudo no Campo da União, visando reduzir as ações antrópicas e mapeadas em um diagnóstico socioambiental.

Inicialmente, a meta foi erradicar 13 (treze) pontos críticos de lixo Figura 70, que impactavam a área em estudo, causando degradação dos solos, contaminação ambiental e instabilidade dos taludes existentes, tudo isso com registros fotográficos antes e pós-intervenção.

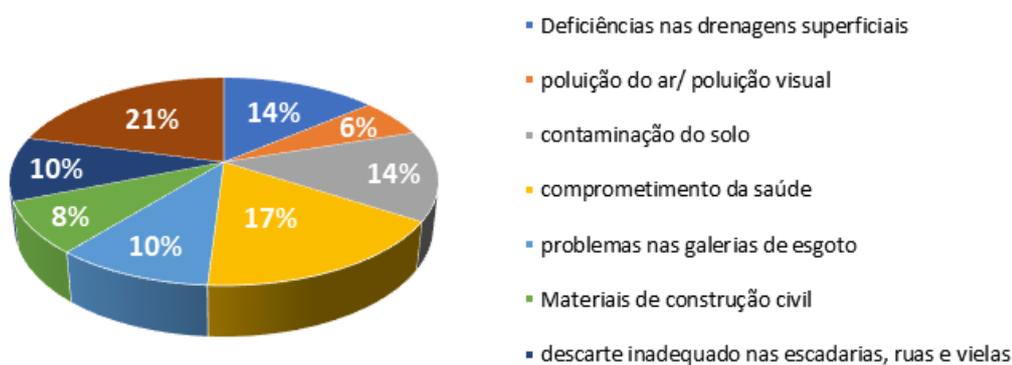
Figura 70- Pontos críticos de lixo irregular



Fonte: Autora.

A Figura 71 apresenta o diagnóstico realizado pela equipe técnica da Prefeitura do Recife no Campo da União, a fim de nortear as ações prioritárias das intervenções no local, destacando o percentual de 21% para o descarte inadequado de resíduos nas bases e corpos das encostas, que apontou como necessidade imediata as ações de conscientização ambiental, nas áreas degradadas pelo lixo.

Figura 71- Diagnóstico de variáveis sobre pontos críticos de lixo no Campo do União



Fonte: Santos *et al.* (2019).

As Figuras 72 a e b mostra os locais antes e após as intervenções, respectivamente, comprometendo a drenagem das vias e mobilidade da população.

Figura 72- (a) e (b) Ponto crítico de lixo x revitalização da parada de ônibus



Fonte: Autora.

Foi realizada uma Campanha denominada “Unidos pelo Lixo” (Figura 73), junto aos moradores do bairro, que envolveu as escolas municipais e as famílias, estimulando a coleta seletiva, onde foi incentivado, a separação dos resíduos recicláveis através da educação ambiental e participação social.

Figura 73- Folder da Campanha Unidos contra o Lixo



Fonte: Prefeitura do Recife (2020).

Na área em estudo, no período de 2019-2020 foram também executadas 4 obras enquadradas em regime de parceria (Poder público/ moradores), assegurando a redução do risco com soluções estruturadora mais simples e de baixo custo. Este formato de cooperação, objetiva mitigar as áreas de risco e incentivar a participação social durante a execução e no cuidado pós-

intervenção. Foram instalados ecopontos para materiais recicláveis (Figura 74), de forma que os moradores pudessem separar os resíduos e realizar uma destinação adequada.

Figura 74- Pontos de entrega voluntário



Fonte: Autora.

Desta maneira, foi possível realizar, um diagnóstico relatando os aspectos dos resíduos sólidos que são mais frequentes despejados de forma incorreta na comunidade (Quadro 7).

Quadro 7- Problemas da gestão dos resíduos e seus impactos ambientais

PONTOS ANALISADOS	PROBLEMAS AMBIENTAIS	OBSERVAÇÕES
1	<b>Pontos críticos de lixo</b>	Através da análise do local, observou-se o descarte inadequado de resíduos de construção e demolição, podagem e resíduos domésticos, sendo estes um dos pontos críticos que deve ser analisado, pois é constituído de outros resíduos que não facilita a reciclagem desses materiais que são recolhidos pelo sistema de coleta público da cidade.
2	<b>Resíduos de construção civil</b>	Os resíduos sólidos denominados “resíduos de construção civil” geram grandes problemas ambientais, pelo descarte inadequado e pela falta de gestão para reutilização. O volume gerado pelas ações antrópicas desintegra o sistema de drenagem, onde a deposição inadequada é oriunda da falta de informações dos pontos de confinamento da comunidade.
3	<b>Resíduos sólidos nas escadarias, rua e vielas</b>	Outro problema ambiental observado, foi o descarte inadequado dos resíduos sólidos nas interligações de acesso, onde dificulta a passagem dos moradores a proliferação de vetores além de provocar a permeabilização superficial causada por mofo, bolor e pela água contaminada tornando uma realidade local.
4	<b>Resíduos sólidos nas drenagens superficiais</b>	A conscientização ambiental é um fator importante em prol do desenvolvimento ambiental. Levando em consideração o descarte inadequado dos resíduos sólidos próximos as drenagens superficiais de esgoto, observa-se que podem obstruir a passagem causando o aumento do nível de água contaminada nas ruas, odor, infertilidade do solo e etc.
5	<b>Resíduos sólidos nas encostas e morros</b>	Um dos sérios problemas ambientais observados é o descarte dos resíduos sólidos em áreas de risco. As encostas, são locais que possuem tendências de desastres conforme suas características físicas muito íngremes e esse problema é recorrente quando são depositados inadequadamente resíduos na base ou no corpo da encosta, despejados esgotos a céu aberto no solo podendo haver rompimento, vindo a retirar vidas.
6	<b>Fragilidade Da saúde pública</b>	A geração de resíduos é um dos grandes problemas deste século que contribui para a produção de lixo crescesse numa escala considerável. Além do aumento da poluição do solo e das águas, este fenômeno traz como consequências problemas de saúde pública. Neste contexto, faz-se necessário buscar alternativas para a destinação final do lixo reaproveitando-os com interação direta entre a coleta seletiva, a compostagem e a reciclagem.
7	<b>Fragilidade Da saúde pública</b>	A geração de resíduos é um dos grandes problemas deste século que contribui para a produção de lixo crescesse numa escala considerável. Além do aumento da poluição do solo e das águas, este fenômeno traz como consequências problemas de saúde pública. Neste contexto, faz-se necessário buscar alternativas para a destinação final do lixo reaproveitando-os com interação direta entre a coleta seletiva, a compostagem e a reciclagem.

Fonte: Adaptado de Nascimento *et., al* (2019).

Quanto ao método GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), observa-se quais os critérios que foram levados em consideração, a fim de avaliar o descarte inadequado dos resíduos, conforme apresenta no quadro 8. Esses critérios são subjetivos e, portanto, considerados conforme as características do local estudado, sendo os resíduos sólidos classificados individualmente para tomadas de decisões eficientes.

Quadro 8- Variáveis para avaliação do diagnóstico

SEGUIMENTO	VARIÁVEIS DETERMINANTES PARA A AVALIAÇÃO DO DIAGNÓSTICO	G	U	T	PONTUAÇÃO
RESÍDUOS SÓLIDOS	Descarte inadequado nas bases e corpos das encostas	5	5	5	125
	Comprometimento da saúde	5	5	5	
	Investimentos públicos	5	5	5	
	Deficiência nas drenagens superficiais	5	5	4	100
	Contaminação do solo	5	4	5	
	Problemas nas galerias de esgoto	5	4	5	
	Descarte inadequado nas escadarias, ruas e vielas	5	4	4	80
	Atuação pública	4	4	5	
	Degradação ambiental por ação antrópica	5	4	4	
	Grau de desempenho da reciclagem	5	4	3	60
	Materiais de construção civil	4	3	4	48
	Déficit de crescimento local	4	3	4	36
	Poluição do ar/ poluição visual	3	3	4	
	Educação ambiental/ atuação social	3	3	4	

Fonte: Nascimento *et al.* (2019).

Os valores obtidos, foram representados em uma escala de classificação variando de 40 a 100, sendo 40 o menor valor (grau 3); 60 sendo considerado um dado intermediário (grau 2); 100 o maior valor (grau 1).

De acordo com os dados apresentados no (Quadro 8), observa-se que o setor de investimentos públicos e comprometimento na saúde, tiveram uma maior pontuação, pois esse fator é oriundo de finanças para desenvolvimento de novas metodologias para melhoria da infraestrutura e gestão dos resíduos sólidos, ambos obtendo 125 pontos e ordem de prioridade grau 1.

Estudos realizados por Costa *et al.*, (2017) corroboraram esses resultados, uma vez que numa escala de priorização, os dados obtidos pelos autores para a questão de investimentos públicos foram de 125 pontos. Ainda sobre o dimensionamento dos custos, os resíduos sólidos possuem integridade direta com a morfologia e rugosidade social discutidas por Rodrigues, Magalhães Filho e Pereira (2016).

Outros fatores como atuação pública, degradação ambiental e educação ambiental são cenários críticos, ocorrendo em áreas onde a perspectiva e difusão do conhecimento ambiental é precária. Na área de estudo, a conscientização ambiental está em pauta, mas é um processo construtivo, uma vez que se deve haver integridade com os cidadãos e com os poderes públicos locais, a fim de reparar os danos avistados com propostas de intervenção e preservação ambiental.

Observa-se também, que algumas residências não possuem sistema simples de saneamento, as quais descartam os dejetos diretamente no solo, comprometendo a resistência das encostas, obtendo a classificação de grau, com mais de 100 pontos. Esses problemas ambientais são recorrentes desse descarte incorreto que compromete a saúde dos moradores e torna o local vulnerável, sobretudo, um ponto crítico de deposição de lixo.

A fim de propor melhorias para minimizar os impactos ambientais e os descartes irregulares do lixo, foram desenvolvidas algumas ações e atividades sociais junto aos moradores com o objetivo de recuperação do espaço degradado e resgate da área de convivência. Foi através de escutas dos moradores que foram desenvolvidos projetos e palestras voltadas para a sustentabilidade, juntamente com as políticas públicas do município que incentivam a atuação dos moradores como protagonistas das revitalizações dos locais.

Foi realizada uma avaliação estatística através do ANOVA método (fator único). Observou-se que os resultados são estatisticamente diferentes de acordo com o P-valor que foi inferior a 5% e  $F(80,21) > F_{crítico}(2,78)$ . Quando há este comportamento, verifica-se que os dados são relevantes, com uma relação entre as variáveis independentes e dependentes. Os resultados podem ser verificados na (Tabela 23).

Tabela 23- Teste ANOVA fator único para análise de variáveis

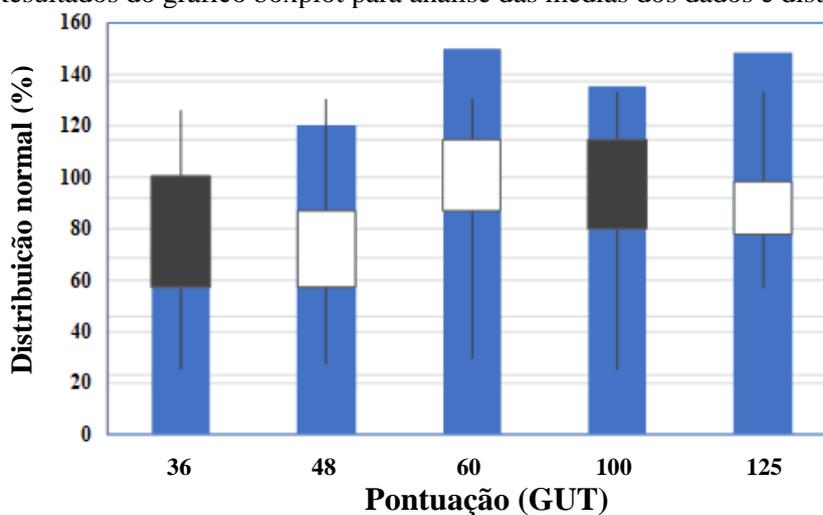
<b>FONTE DA VARIACÃO</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>VALOR-P</b>	<b>F CRÍTICO</b>
Entre grupos	62835,19643	3	20945,07	80,21425	1,64693E-19	2,7826
Dentro dos grupos	13577,92857	52	261,114			
Total	76413,125	55				

Fonte: Silva *et al.* (2021).

Com o objetivo de compreender a significância dos dados apresentados, foram escolhidas as variáveis que tiveram pontuação de 125 com (grau de prioridade 1) e sabe-se que a falta de investimentos públicos e ações mitigadoras podem acarretar diversos problemas e, um deles, está relacionado a saúde. Além disso, o descarte inadequado de dejetos pode comprometer a estabilidade dos taludes em áreas de risco, aumentando, por sua vez, a contaminação do solo por não haver projetos específicos que minimizem esses problemas.

A Figura 75, apresenta uma distribuição das variáveis compatibilizadas, onde as médias e análises de erros foram levadas em consideração para melhor discussão da viabilidade dos dados utilizados frente ao método da matriz GUT. É possível identificar que, em algumas regiões agrupadas, foram apresentados valores com taxas medianas iguais a 42% e 47%, mas na região 3 os dados se dispersaram em torno de 50 %, caracterizada pela falta de um maior desenvolvimento econômico em relação as variáveis com pontuação entre 36 (grau 3) e 80 (grau 2).

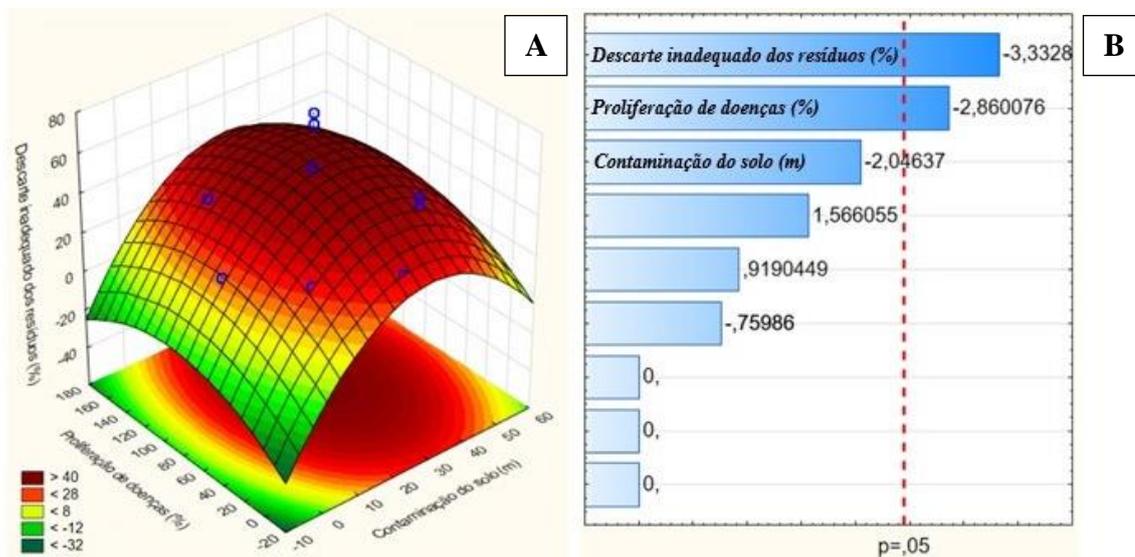
Figura 75 - Resultados do gráfico boxplot para análise das médias dos dados e distribuição normal



Fonte: Silva *et al.*, (2021).

A indicação é que deveria ser realizado um projeto de avaliação dos impactos ambientais na área. Desta forma, são apresentados os resultados da superfície que potencializam as correlações das 3 variáveis independentes e o descarte inadequado dos resíduos na encosta que influencia a proliferação de doenças causadas por agentes transmissores e a contaminação do solo, (Figura 76 a e b) respectivamente. Além disso, a correlação dessas variáveis teve resultados significativos a 5% de variância mostrados no diagrama de Pareto (SILVA *et al.*, 2021).

Figura 76- (a) Superfície resposta quanto as variáveis que influenciam no descarte inadequado dos resíduos e na proliferação de doenças (b) Diagrama de Pareto



Fonte: Silva *et al.* (2021)

## 6 CONCLUSÕES

Através da análise temporal frente ao processo de urbanização entre os anos de (1964-2021), foi possível avaliar a dinâmica das ocupações no território no que diz respeito a importância do Controle Urbano que, por sua vez, visa minimizar os impactos ambientais correlacionados ao ecossistema e nas áreas de risco como as encostas.

A avaliação da análise temporal dos mapas de uso e ocupação do solo no decorrer dos 57 anos, indicou um avanço da ocupação urbana em no ano de 2021, aumentando cerca de 50% em relação ao ano de 1964. Este resultado, por sua vez, potencializa alagamentos e deslizamentos em áreas de risco.

A cobertura vegetal, foi a tipologia que mais prejudicada com a urbanização desordenada, pois a supressão drástica de 48,90% no ano de 1964 passou para 3,05% em 2021, acarretando os problemas no funcionamento da drenagem e agravamento das condições sanitárias dos moradores.

Em relação ao sistema viário, o índice de ocupação foi de 8,66% em 1964 passando para 10,30% em 2021, atestando a falta de desenvolvimento de infraestrutura urbana e mobilidade. Na tipologia de solo exposto, observou-se uma variação de 8,13% em 1964 para 2,19% em 2021, comprovando o avanço da impermeabilização do solo.

Entre o período de 1964 a 1976, os parâmetros estudados de mancha urbana, sistema viário, solo exposto e vegetação se mantiveram constante, mas a partir de 2004 com o aumento da densidade demográfica na Região Metropolitana do Recife, houve um aumento significativo de 40%. Esses índices foram fortemente impactados, gerando problemas estruturais pela falta do investimento no controle urbano do município.

As imagens georreferenciadas permitiram esta avaliação, podendo servir como parâmetro para subsidiar o planejamento socioambiental e urbano para tomada de medidas mitigadoras através de projetos desenvolvidos pela gestão pública.

Quanto aos ensaios de granulometria, o solo e o RCC foram classificados segundo SUCS, como uma areia argilosa (SC) e areia siltosa, respectivamente. Foi observado que não houve alteração

em relação ao solo contendo RCC e no compósito S70R30, pois estes foram classificados como areia argilosa. Já no compósito S50R50, ocorreu uma leve mudança na matéria, sendo classificado como areia argilosa/siltosa.

Quanto aos resultados dos limites de Atteberg dos materiais, verificou-se que o solo foi classificado como moderadamente plástico e o RCC como materiais não plástico. Os compósitos S70R30 e S50R50 com o acréscimo de RCC ao solo, diminui o índice de plasticidade, tornando a amostra levemente plástica.

Em relação à mineralogia do solo, com a utilização dos ensaios de difração de raios-X e lupa binocular foi possível identificar a presença de quartzo, biotita, feldspato, caulinita, calcita, dolotita, feldspato, magnetita e goetita. No RCC foram encontrados biotita, quartzo, calcita, dolomita, feldspato, ilmetita, óxido de ferro e goetita. Esses minerais fazem parte da composição matricial do RCC devido a presença de brita e a relação com granito.

Através das análises químicas de avaliação do pH do solo e dos compósitos, verifica-se que, ao substituir o RCC, estes foram classificados com a alcalinidade leve a moderada. Em relação a presença dos óxidos no ensaio de efluorescência de raios-X, foi identificado a presença de dióxido de silício, óxidos de alumínio e ferro no solo. Além do quartzo, observou-se que o RCC possui alumínio, silício e ferro.

Na caracterização mecânica, foi constatado que para as curvas de compactação dos materiais acrescentados de fibra, ocorrem um aumento da umidade ótima e uma redução da massa específica máxima do solo.

Quanto à RCS a incorporação de 30% a 50% de RCC ao solo puro, reduziu a RCS quando comparado ao solo em todas as idades de ruptura, mas vale salientar que ao incorporar 30% do RCC a resistência quase se equiparou ao solo, atestando a viabilidade da utilização. Na idade de ruptura de 28 dias, os resultados apresentaram variação de 169 kPa a 374 kPa e o compósito que apresentou o maior incremento de resistência foi o de S99F1, aumentando a RCS em 152,7%, quando comparado ao solo puro.

A aplicação da metodologia estatística do RSM produziu um modelo matemático com coeficiente de regressão  $R^2$  igual a 86,78%, valor adequado para representar essa característica

do modelo, porém, apresentou falhas na avaliação das variáveis independentes, que foi reprovado em metade dos testes de variância (Valor-P). Já no ajuste de previsão, o modelo que apresentou coeficiente comparativo entre o  $R^2$  Ajustado e  $R^2$  Previsto acima do limite máximo de 20% (36,49%).

A otimização estatística indicou os teores de incorporação dos materiais com 0,0% de RCC e 1,5% de fibra de bambu aos 28 dias de cura (TC), alcançando 330,15 kPa de resistência à compressão simples (RCS). O RCC na análise indicou influência negativa no comportamento de resposta da RCS, ou seja, à medida que seu teor aumenta, a resistência tende a reduzir.

O tempo de cura, apresentou comportamento quase que diretamente proporcional com resposta da RCS, tendência essa que é amplamente encontrada e corroborada por outros estudos dessa natureza. Com a RCS máxima prevista pelo modelo indicando um valor abaixo de um dos máximos já encontrados em ensaios previamente realizados (Compósito S99F1). Tais resultados, tem grande correlação com a variabilidade encontrada, nos valores da RCS, obtidos na fase de rompimento dos corpos de prova.

Na metodologia GUT, observou-se que alguns pontos estudados são prioritários nas tomadas de decisões como, por exemplo, saúde local que obteve pontuação de 100 pontos, sendo caracterizada em grau I e o segundo são na deposição de resíduos incorreta na base do talude, obtendo 125 pontos, sendo caracterizado em grau I.

Diante dos resultados expostos, verifica-se que a utilização da fibra de bambu se apresentou como uma alternativa viável para melhoramento das propriedades de um solo em uma área de risco, assim também como o incremento do RCC na proporção de 30%, pois reduz a utilização do agregado natural e dar destino correto ao RCC. Também, mostrou a importância do incremento das ações de conscientização ambiental e de gerenciamento dos resíduos, a fim de reduzir os impactos ambientais e ajudar a combater as ações antrópicas, contribuindo para a melhoria do meio onde vivem em função do desenvolvimento de uma sociedade ambientalmente sustentável.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO

A partir dos resultados realizados, é sugerido dar continuidade as ações desenvolvidas, investigando outros parâmetros e estudos:

- Investigar o desempenho físico/mecânico dos compósitos para novas tempos de ruptura: 60 e 120 dias;
- Realizar ensaios de resistência a compressão simples, utilizando compósito com valores intermediários 15% e 40% de RCC;
- Estudar inclinações ótimas da encosta, objetivando a aplicação do compósito solo-RCC-fibra mediante compactação, buscando a estabilidade do solo;
- Realizar investigação sobre erodibilidade dos materiais e compósito;
- Estudar indicadores sociais, objetivando atestar a eficácia da conscientização ambiental no combate das ações antrópicas;
- Avaliar o comportamento do solo quanto as técnicas de FTIR, para análise das vibrações das bandas de absorção.

## REFERÊNCIAS

- ABBASPOUR, M.; AFLAKI, E.; MOGHADAS NEJAD, F. Reuse of waste tire textile fibers as soil reinforcement. **Journal of Cleaner Production**, v. 207, p. 1059–1071, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.253>
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA – APAC. **Acumulado mensal de precipitação em 2023**. Recife, 2023. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#>. Acesso em 06 jun 2023.
- ALBUQUERQUE, R. A. **Análise de uma encosta em área de risco no município de Jaboatão dos Guararapes/PE**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2016.
- ALMEIDA, S. M. **Análise do comportamento do solo com adição de resíduos de construção e fibras de sisal**. Dissertação (Mestrado) Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2021.
- ARAÚJO, Helena Maria da Conceição de. **Percepção do risco a deslizamentos em áreas vulneráveis na Serra do Bodopitá, Queimadas/PB**. Campina Grande, 2019. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. 2019.
- ARCHEZINI, Victor. Pesquisa transdisciplinar como suporte ao planejamento de ações de gestão de risco de desastres. **Saúde em Debate**, [S.L.], v. 44, n. 2, p. 33-47, jul. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-11042020e203>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021**. Abrelpe. 2022. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama>. Acesso em 15 out. de 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 1004**: Resíduos Sólidos- Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10905**: Solos- Ensaio de palheta *in situ*. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12770**: Solo Coesivo – Determinação da Resistência à Compressão não Confinada: Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16828-1**: Estrutura de Bambu- Projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16828-2**: Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 61118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457**: Amostra de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6458**: Grãos de pedregulhos retidos na peneira de abertura 4,8mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6502**: Rochas e solos – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7182**: Solo – Ensaio de Compactação: Método de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9604**: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

AUTARQUIA DE MANUTENÇÃO E LIMPEZA URBANA - EMLURB. Ofício DLU, 023, 26 mai 2023. **Informações sobre volume total de resíduos de construção civil e dos resíduos sólidos**, Recife-PE: EMLURB, ano 23, 26 maio 2023.

BARBOSA, T. da C. S.; DE OLIVEIRA, V. P. V. Indicadores químicos e biológicos de qualidade do solo utilizados no monitoramento da degradação em ambientes semiáridos: análise do estado da arte / Chemical and biological soil quality indicators used in monitoring degradation in the semiarid environments an analysis the state of the art. **Brazilian Journal of Development**. [S. l.], v. 8, n. 3, p. 17403–17423, 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n3-126. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/45006>. Acesso em: 11 jun. 2023.

BEZERRA, C. M.; FARIAS, G. L.; GOMES, A. C. A. Análise Espaço-temporal do Uso e Ocupação na Lagoa da Itaperaoba no Bairro Serrinha em Fortaleza-CE. **Cadernos de ensino, ciências & tecnologia**. [S. l.], v. 2, n. 4, p. 9–27, 2021. Disponível em: <https://revistastestes.uece.br/index.php/CCiT/article/view/4848>. Acesso em: 16 mar. 2023.

BEZERRA, J. da S. **Análise do processo erosivo de uma encosta no bairro de Bom Jesus – Ilha de Itamaracá/PE**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Pernambuco, Pós graduação em Engenharia Civil, Recife, 2022.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. Trad. Antônio B. Neiva Figueiredo Filho. 5 ed. Rio de Janeiro: Editora Freitas bastos, 1979.

BRASIL. **GIRD +10: Caderno Técnico de Gestão Integrada de Riscos e Desastres**. Ministério do Desenvolvimento Regional. 1ª edição. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec>. Acesso em 15 out. de 2022.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**: Poder executivo, Seção 1, Brasília, DF, n. 136, p. 95-96, 17 jul. 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº431, de 25 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. **Diário Oficial da União**: Poder executivo, Seção 1, Brasília, DF, n. 136, p. 95-96, 17 jul. 2002.

BRITO, L. C.; PARANHOS, H. da S. Estabilização de Solos. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. São Paulo, v. 1, n. 2, p. 425-438, 2017.

BROWN, G.; BRINDLEY, G.W. X-ray Diffraction Procedures for clay mineral Identification. In: BRINDLEY, G.W; BROWN, G. **London: Mineralogical Society**. 1980 chapter 5, p.305-360.

BRUNING, J.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; BOSCAINI, R.; CONCEIÇÃO, C. G. da; GOLLO, E. de D. A. Estimativa da curva de retenção de água no solo por função de

pedotransferência. *Cultura Agronômica: Revista de Ciências Agronômicas*. v. 28, n. 1, p. 97–110, 2019. DOI: <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2019v28n1p97-110>.

BULTI, Dejene Tesema; ABEBE, Birhanu Girma. Analyzing the impacts of urbanization on runoff characteristics in Adama city, Ethiopia. *SN Applied Sciences*. vol. 2, no. 7, 1 Jul. 2020.

CARVALHAIS, R. M.; MORAES, N. A.; SILVA, H. F.; BERNARDES, I. M. M. Deslizamento de encostas devido a ocupações irregulares. *Brazilian Journal of Development*. Curitiba, v. 5, n. 7, p. 9765-9772, 2019.

CARVALHO, R. S. S. **Estudo da viabilidade da utilização da fibra de coco babaçu em formulações de tijolo de solo-cimento**. Dissertação (Mestrado). Instituto Federal do Piauí, Programa de Pós-Graduação em Engenharia dos Materiais, Teresina, 2019.

CASTRO, T. PE: Distúrbio Ondulatório de Leste contribuiu para aumento de chuvas na Mata Sul e no Agreste. *Folha de Pernambuco*. [S. l.], p. 1, 4 jul. 2022. Disponível em: <https://www.folhape.com.br/noticias/disturbio-ondulatorio-de-leste-contribuiu-para-aumento-de-chuvas-na/232606/>. Acesso em: 12 ago. 2022.

CAVALCANTI, H., MIRANDA, L.; SOUZA, M. Â.; NEVES, N. Tipologia e caracterização dos assentamentos precários: região metropolitana do Recife. *Repositório de Conhecimento do IPEA*, 2016.

CAVALCANTI, I.; FERREIRA, N. **Clima das regiões brasileiras e variabilidade climática**. 1. ed. [S. l.]: Oficina de textos, 2021.

CHEN, M.; SHEN, S. L.; ARULRAJAH, A.; WU, H. N.; HOU, D. I.; XU, Y. S. Laboratory evaluation on the effectiveness of polypropylene fibers on the strength of fiber-reinforced and cement-stabilized Shanghai soft clay. *Geotextiles and Geomembranes*, Amsterdã, v. 43, n. 6, p. 515-523, 2015.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Sistema de informações geoambientais da região metropolitana do Recife**. Recife. 2003. Disponível em: <http://cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia%2C-Meio-Ambiente-e-Saude/Informacoes-do-Meio-Fisico-da-Regiao-Metropolitana-do-Recife-%28Publicacoes-1992-2002%29-169.html>. Acesso em 15 de abril de 2022.

CORREAL, F. F. Bamboo design and construction. *In Nonconventional and Vernacular Construction Materials*, Elsevier, p. 521–559, 2020.

COSTA, Amanda Rodrigues Santos et al. Aplicação da matriz GUT na gestão integrada de resíduos sólidos da cidade do Recife. *Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*. México, v. 10, n. 2, p.201-213, ago. 2017.

CRUZ, M. **Utilização de Argamassa para Revestimento de Alvenaria com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção Civil: Uma Revisão Sistemática**. Caruaru. 2021.

Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/43841>. Acesso em 15 out. de 2022.

DELOACH, R.; ULBRICH, N. A comparison of two balance calibration model building methods. **American Institute of Aeronautics and Astronautics**, v. 1, p. 1-81, 2007

DEUS, R. M; BATTISTELLE, R. A. G; SILVA, G. H. R. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. **Revista de Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 20, n. 4, p.685-698, dez. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020040129347>. Acesso em 30 ago 2022.

DIACENO, Adriana Amaro. **Modelagem por elementos finitos de materiais compósitos estruturais incorporando material viscoelástico para o controle passivo de vibração e ruído**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Materiais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010.

DIÁRIO DE PERNAMBUCO. **Recife é a Melhor Cidade das Regiões Norte e Nordeste em Tecnologia e Inovação**. 2021 Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2021/11/recife-e-a-melhor-cidade-das-regioes-norte-e-nordeste-em-tecnologia-e.html>. Acesso em: 21 mar 2022.

EMBRAPA -Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de Solos do Brasil**. 2018. Disponível em: [http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3ABrasil\\_solos\\_5m\\_20201104](http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3ABrasil_solos_5m_20201104). Acesso em: 09 mai. 2023.

EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPÉCUARIA. **Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco (ZAPE)**. 2001. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnicas/-/produto-servico/4697/zoneamento-agroecologico-do-estado-de-pernambuco-zape>. Acesso em 12 de abril de 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA–EMBRAPA. Embrapa. **Solos: Atributos do Solo**. EMBRAPA, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs/atributos-do-solo/outrosatributos#:~:text=Rela%C3%A7%C3%A3o%20silte%2Fargila&text=%C3%89%20empregada%20em%20solos%20de,textura%20argilosa%20ou%20muito%20argilosa>. Acesso em: mai. 2022.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI –. **Gis dictionary**. 2020. Disponível em: <https://support.esri.com/en/other-resources/gis-dictionary/term/7cbd3f7c-e17f-4bb0-a51a-318ccf5b68f1>. Acesso em: 22 fev. 2020.

FÁVERI, R; SILVA, A. Método Gut Aplicado à Gestão de Risco de Desastres: Uma Ferramenta de Auxílio para Hierarquização de Riscos. **Revista Ordem Pública e Defesa Social**, Santa Catarina, 9, 93-107. 2016.

FELDENS, N. E. A.; LUVISON, C. M. S.; INEIA, A.; LOPES JUNIOR, L. S. Análise da evolução da pesquisa em reforço com fibras na engenharia civil: um estudo bibliométrico. **Revista Destaques Acadêmicos**, Lajeado, v. 13, n. 4, 2021. ISSN 2176-3070.

FERNANDES, S. Z. **Sustentabilidade em projetos de construção: Uma matriz multicritério baseada em riscos**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 101 pp. 2015.

FERREIRA, F. **Climatologia da precipitação na cidade do Recife**. Conteco, Foz do Iguaçu, 2016. Disponível em: [https://www.confea.org.br/sites/default/files/uploads-imce/contecc2016/experiencia\\_profissional/climatologia%20da%20precipita%C3%A7%C3%A3o%20na%20cidade%20do%20recife.pdf](https://www.confea.org.br/sites/default/files/uploads-imce/contecc2016/experiencia_profissional/climatologia%20da%20precipita%C3%A7%C3%A3o%20na%20cidade%20do%20recife.pdf). Acesso em 20 mar 2022.

FERREIRA, S. R.; SILVA, F. A.; LIMA, P. R. L.; TOLEDO FILHO, R. D. Effect of hornification on the structure, tensile behavior and fiber matrix bond of sisal, jute and curauá fiber cement based composite systems. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 139, p. 551-561, 2017.

FONTOURA, T. B.; COUTINHO, R. Q.; DA SILVA, F. O. T. Geochemical and Mineralogical Contributions in the Study of Sedimentary Rock (Barreiras Formation) Soils, Recife/Brazil: Implications for Landslides. **Geotechnical and Geological Engineering**, vol. 41, p. 205–224, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10706-022-02274-8>.

FREITAS, P. S. de; SANTOS, P. R. dos; PINTO, E. M.; ESTEVES, I. C. A. Movimentos de massa: A solução por meio dos muros de contenção. **Revista Científica de Ciências Aplicadas da FAIP**, vol. 5, no. 10, p. 30–42, 2018.

G1 PE. **Recife tem a maior desigualdade entre as capitais em 2019 e PE fica terceiro no país em concentração de renda, diz IBGE**. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2020/11/12/recife-tem-maior-desigualdade-entre-capitais-em-2019-e-pe-fica-em-terceiro-no-pais-em-concentracao-de-renda-diz-ibge.ghtml>. Acesso em: 20 mar 2022.

GOMES, D. A. C.; MIRANDA, E. H. N.; FURTINI, A. C. C.; SANTOS, C. A.; RESENDE, M. D.; VILLARRUEL, D. C. V.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. Viabilidade de compósitos poliméricos de polipropileno reforçados com fibra de bambu. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 15, n. 4, p. 511-522, 2021.

GOMES, N. C. **Comportamento hidromecânico de solos reforçados com fibras pet para aplicação em barreiras de contenção de resíduos**. 2018. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

GONÇALVES, L. M. da S.; SILVA, L. C. L. da; LAFAYETTE, K. P. V. Avaliação dos riscos de deslizamento no bairro de Sapucaia no município de Olinda, Pernambuco, Brasil. **Gaia Scientia**, vol. 15, no. 1, p. 158–172, 2021. DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2021v15n1.57079>.

GOOGLE EARTH. **Google Earth website**. 2022. Disponível em: <http://earth.google.com/> . Acesso em: 20 de julho de 2022.

GOWTHAMAN, S.; NAKASHIMA, K.; KAWASAKI, S. A state-of-the-art review on soil reinforcement technology using natural plant fiber materials: past findings, present trends and future directions. **Materials**, v. 11, n. 4, p. 553, 2018.

GÜLLÜ, H.; FEDAKAR, H. I. Response surface methodology for optimization of stabilizer dosage rates of marginal sand stabilized with sludge ash and fiber based on UCS performances. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 21, n. 5, p. 1717-1727, 2017.

HEJAZI, S. M.; SHEIKHZADEH, M.; ABTAHI, S. M.; ZADHOUSH, A. A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers. **Construction and building materials**, v. 30, p. 100-116, 2012. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.11.045.

HIDALGO-LÓPEZ, O. Bambu su cultivo y aplicaciones en: Fabricacion de papel, Construcion, Arquitectura, Ingeniería y Artesania. Cali, Colômbia: **Estudios Tecnicos Colombianos Ltda.**, 1974. p.318.

IBGE -Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malhas territoriais**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>. Acesso em:09 mai. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades e Estados**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/recife.html>. Acesso em: 20 mar 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA - IBGE. **Recife-Pernambuco**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>. Acessado em: 27 de setembro de 2021.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **ODS – Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2018. Disponível em: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8855/1/Agenda\\_2030\\_ods\\_metas\\_nac\\_dos\\_obj\\_de\\_desenv\\_susten\\_propos\\_de\\_adequa.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8855/1/Agenda_2030_ods_metas_nac_dos_obj_de_desenv_susten_propos_de_adequa.pdf). Acesso em 03 nov 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Balanço do inverno 2021 nas capitais Recife – PE e João Pessoa - PB**. 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/balan%C3%A7o-do-inverno-2021-nas-capitais-recife-pe-e-jo%C3%A3o-pessoa-pb#:~:text=No%20inverno%20de%202021%2C%20o,7%20mm%2C%20ver%20Figura%20>. Acesso em 28 de julho de 2022.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis**: advance Course. 29. ed. Madison, 1975. 895 p.

JANSSEN, J. A. **The mechanical properties of bamboo used in construction**. IDRC Mai. Ottawa, 2000.

JARDIM BOTÂNICO DO RECIFE. **Histórico do Jardim Botânico**. Recife-PE, .2022. Disponível em: <http://jardimbotanico.recife.pe.gov.br/pt-br/historico>. Acesso em: 17 fev. 2022.

LAFAYETTE, K; COUTINHO, R; CANTALICE, J; NETTO, A. **Estudo Geológico – Geotécnico do Processo Erosivo em Encostas no Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcanti - Cabo de Santo Agostinho/PE**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2006.

LEAL, C.; CÂMARA, I. **Mata Atlântica: Biodiversidade, Ameaças e Perspectivas**. Fundação SOS Mata Atlântica, 2005. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/ecovegetal/leituras/CapituloVEstadodabiodiversidadedaMataAtlanticabrasileira.pdf>. Acesso em: 20 mar 2022.

LI, H.; SENETAKIS, K. Modulus reduction and damping increase of two sands reinforced with polypropylene fibers. **Journal of Materials in Civil Engineering**, Washington, D. C., v. 30, n. 3, p. 04017299-1 – 04017299-9, 2018.

LIMA, L. P. F. C.; CABRERA, J. M. F.; GARCÍA, A. D. G.; SANTANA, R. M. C. Benefícios do bambu na recuperação de terras degradadas. In: IV CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 2014, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Rio Grande do Sul, 2014.

LIMA, L. P.; SANTANA, R. M. C.; RODRIGUEZ, C. D. Influence of Coupling Agent in Mechanical, Physical and Thermal Properties of Polypropylene/Bamboo Fiber Composites: Under Natural Outdoor Aging. **Polymers**. 2020.

LIU, Qiunan; MA, Yifan. Study on the Impact of New Urbanization on Land Intensive Use - A Case Study of Shaanxi Province. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, vol. 768, no. 5, p. 052004, 30 Mar. 2020.

LOPES, M.; CASAGRANDE, M. Estudo do Comportamento de um Solo Reforçado com Fibras de Açáí (*Euterpe oleracea*). **Geocentro**. Brasília. 2019. Disponível em: <https://qe.iweventos.com.br/upload/trabalhos/t1arquivo/7M9tS70NpjO4UPTRm9dKNrdXtH61.pdf> . Acesso em 11 jun 2023.

LUCARELLI, D. C. **Estudo do comportamento mecânico de solos reforçados com fibras de polietileno tereftalato (PET) de distribuição aleatória**. 2018.169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2018.

MACEDO, T. F. **Análise do desempenho mecânico da mistura agregado reciclado-solo-fibra-cimento para pavimentação**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2013.

MAGALHÃES, J. S. L. A. **Estudo de estabilidade da encosta Alto do Padre Cícero no Município de Camaragibe-PE**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Programa de pós graduação em Engenharia Civil, Recife, 2013

MANTOVANI, B. **Mapeamento de risco a movimentos de massa e inundação em áreas urbanas do município de Camaragibe**. 2016. Dissertação (Mestrado Em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

MARCATTO, Francieli Sant'ana; SILVEIRA, Hélio; FONTANA, Alan Charles. Estabilidade de agregados dos solos em uma topossequência cultivada com cana-de-açúcar em Astorga-PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 14, n. 7, p. 3953-3967, jan. 2022. ISSN 1984-2295. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/250074>. Acesso em: 03 nov. 2022.

MARCHEZINI, Victor. Pesquisa transdisciplinar como suporte ao planejamento de ações de gestão de risco de desastres. **Saúde em Debate**, [S.L.], v. 44, n. 2, p. 33-47, jul. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-11042020e203>.

MARTINS, C. Práticas agrícolas relacionadas à calagem do solo. **Comunicado Técnico n.47**. Empraba. Juiz de Fora. 2005. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/595886>. Acesso em 11 jun. 2023.

MARTINS, N. et al. Priorização na Resolução de Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado: Método GUT. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, Recife, v. 2, n. 3, p.139-148, ago. 2017. Disponível em: <http://revistas.poli.br/index.php/rep/issue/viewIssue/12/12>. Acesso em: 20 de março de 2019.

MAZUMDER, Payal et al. Enhancement of soil physico-chemical properties post compost application: Optimization using Response Surface Methodology comprehending Central Composite Design. **Journal of Environmental Management**, v. 289, p. 112461, 2021.

MENEZES, J. P. C.; BITTENCOURT, R. P.; BELLO, I. P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Lavras, v. 21, n. 31, p. 519-534, 2016.

MI, Y., CHEN, X., GUO, Q. Bamboo Fiber-reinforced Polypropylene Composites: Crystallization and Interfacial Morphology. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 64, p. 1267-1273, 1997.

MIRANDA, D. L.; MENDONÇA, A.T.; MELO, M. C.; MELO, E. D. Educação Ambiental a partir da Agenda 2030: experiências da conscientização e do uso Racional da água em uma escola Municipal de varginha (MG). **Revbea**, São Paulo, v. 16, n. 2: 174-190, 2021

MOHAMMED, Mona S.; ELKADY, Hala; GAWWAD, Hamdy A. Abdel-. Utilization of construction and demolition waste and synthetic aggregates. **Journal of Building Engineering**, [S.L.], v. 43, p. 103207, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.job.2021.103207>.

MOORE, D. M.; REYNOLDS, R. C. **X-ray diffraction and identification and analysis of clayminerais**.Oxford: Oxford University Press, 1989. 332 p.

MORANDINI, T. L. C.; SCHNEIDER, V. C. Compressibilidade em misturas de solo laterítico, bentonita e fibras para uso em barreiras de fluxo. **Holos Environment**, São Paulo, v. 17, n.1, p. 66-78, 2017.

MOTTA, Thales Goretti. **Estudo do comportamento mecânico de solos reforçados com fibras naturais**. 2018. 876 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil)—Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

MYERS, R. H.; MONTGOMERY, D. C.; ANDERSON-COOK, C. M. **Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiments**. 3 ed. New Jersey, USA: John Wiley&Sons, 2009.

NASCIMENTO, C.; SANTOS, M.; ALMEIDA, M. Método Gut (gravidade, urgência e tendência) e método dos fatores para priorização na resolução de manifestações patológicas e estimativa da vida útil de elementos em edifício na cidade do Recife. **Congresso Brasileiro de Patologias das Construções**, 6, p. 1493 - 1502. 2018.

NASCIMENTO, C; SILVA, F; LAFAYETTE, K; SANTOS, M. **Diagnóstico dos Impactos Físicos-Ambientais, utilizando a Matriz Gut no Campo da União/ Recife-PE**. VI Congresso Brasileiro de Resíduos Sólidos. 2019. São Luís.

NASCIMENTO, E. C. **Avaliação das propriedades do agregado reciclado da construção civil para utilização em sistema de cobertura final de aterros sanitários**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.

NASCIMENTO, L. A. do; SILVA, T. A. da; LAFAYETTE, K. P. V.; SANTOS, M. J. P. dos; CAVALCANTI, A. R. Urbanização desordenada e degradação ambiental associados a escorregamentos: uma abordagem metodológica para análise temporal de ocupações subnormais. **Ciência e Natura**, [S. l.], v. 42, p. e81, 2020.

NDEPETE, C.P.; SERT, S.. Use of Basalt Fibers for Soil Improvement. **Acta Physica Polonica A**, [S.L.], v. 130, n. 1, p. 355-356, jul. 2016. Institute of Physics, Polish Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.12693/aphyspola.130.355>.

NOGUEIRA, A. P. L.; FERREIRA, A. L. S.; PINTO, J. F. S.; OLIVEIRA, S. M.; CABRAL, S. C. Analysis of Concrete Strength with Addition of Bamboo Fiber. **International Journal of Geoscience, Engineering and Technology**, v. 3, n. 1, p. 80-90, 2021.

NUNES, G. et al. **O Uso do Bambu como Material Estrutural na Construção Civil**. Revista Princípios, n. 55. João Pessoa, PB. 2021. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/viewFile/4366/1725#:~:text=O%20bambu%20C3%A9%20uma%20alternativa,quanto%20C3%A0%20resist%C3%A2ncia%20C3%A0%20tra%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 14 out. de 2022.

OLIVATTO, T.; INGUAGGIATO, F.; STANGANINI, F. Uso de Aeronave Remotamente Pilotada como Ferramenta para Análise e Gestão Territorial: Um Estudo para Regularização

Fundiária Urbana. **Eng Urb em Debate: Cidade e Pesquisa**. v. 3 n. 1/2 (2022). DOI: <https://doi.org/10.59550/engurbdebate.v3i1/2.39>. Acesso em: 11 jun 2023.

OLIVEIRA JÚNIOR., A. I. **Comportamento geotécnico de misturas compactadas de solo argiloso com fibras curtas de coco**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2018.

OLIVEIRA, A. L. G.; MAGALHÃES, S. L. M.; FIORESE NETO, O.; PASQUALETTO, A.; BÁRRIOS, G. F. M. Urbanização de risco em frente de escarpa e encostas: caso de Primavera do Leste-MT. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional**, Blumenau, MT, v. 2, p. 197-219, 2015. 125.

OLIVEIRA, C. G.; GIUDICE, D. S. Impactos socioambientais em áreas de ocupação espontânea o exemplo de Vila Canária – Salvador-BA. **Revista Tocantinense de Geografia**, Araguaína, v. 6, n. 9, p. 65- 87, 2017.

OLIVEIRA, D. et al. Conscientização ambiental- preparando o futuro: relato de experiência de um projeto de extensão em Palestina de Goiás (GO). **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 16, nº 1, p. 279- 292. 2021.

ORDOÑEZ MUÑOZ, Y.; IZZO, R. L. dos S.; ALMEIDA, J. L. de; BALDOVINO, J. A.; ROSE, J. L. The role of rice husk ash, cement and polypropylene fibers on the mechanical behavior of a soil from Guabirota formation. **Transportation Geotechnics**, v. 31, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2021.100673>.

PAIVA, J. M. F.; HOSOKAWA, M. N. Avaliação de propriedades de tração e flexão de compósitos de abs reciclado reforçados com tecidos de fibras de Juta. **Ambiente: Gestão e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 1, n. 1, 2021. DOI: 10.24979/ambiente.v1i1.942. Disponível em: <https://periodicos.uerr.edu.br/index.php/ambiente/article/view/942>. Acesso em: 11 jun. 2023.

PAZ, D. et al. Riscos de impactos ambientais proveniente da deposição irregular de Resíduos da Construção Civil em bacias hidrográficas da Região Metropolitana do Recife. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 32, n.3, p. 325-336, 2018.

PEDROSA, A. A. **Comportamento geomecânico de solo reforçado com resíduo da construção civil e fibras de polietileno tereftalato (PER)**. Dissertação (Mestrado) Universidade de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2021.

PEREIRA, T. T. C.; OLIVEIRA, F. S.; FREITAS, D. F.; DAMASCENO, B. D; DIAS, A. C. A mineralogia dos solos tropicais: estado da arte e relação com o uso e manejo. **Revista Geonomos**, v. 28, n. 1, p. 1-14, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistageonomos/article/view/29650>. Acesso em: 11 fev. 2022.

PERIARD, Gustavo. Matriz GUT: **Guia Completo**, 2011.

PORTELA, M. F. A. **Avaliação da dispersividade e resistência à compressão de compósitos de um solo da formação barreiras com RCC e cal.** Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.

PORTELA, M. F. A.; LAFAYETTE, K. P. V.; NASCIMENTO, E. C do.; BEZERRA, J da. S.; FERREIRA, S. R de. M.; SANTOS, M. J. P dos. Avaliação da dispersividade e resistência à compressão simples de compósitos de solo, resíduos de construção e demolição e cal hidratada. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, 2021. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11959>.

PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE. **Plano Diretor Municipal:** capítulo II- da compartimentação territorial, seção II-zoneamento. 2021. Disponível em: <https://licenciamento.recife.pe.gov.br/lei-complementar-n%C2%BA-02-2021>. Acesso em: 20 mar 2022.

PREFEITURA DO RECIFE. **Conhecendo a Cidade.** Recife, 2021. Disponível em: <http://www2.recife.pe.gov.br/pagina/conhecendo-cidade>. Acesso em: 20 mar 2022.

PREFEITURA DO RECIFE. **Mais Vida estreia bloco Unidos Contra o Lixo.** Prefeitura do Recife. 2020 Disponível em: <https://maisvidanosmorros.recife.pe.gov.br/mais-vida-nos-morros-estreia-o-bloco-carnavalesco-unidos-contra-o-lixo/>. Acesso em 30 de outubro de 2022.

PREFEITURA DO RECIFE. **Obras do Programa Parceria em áreas de morro da Zona Norte do Recife.** 2022. Disponível em: <https://www2.recife.pe.gov.br/node/292491>. Acesso em: 21 mar 2022.

PREFEITURA DO RECIFE. **PLANO Local de Ação Climática da Cidade do Recife 2020.** Prefeitura do Recife. 2020. Recife, PE. Acesso em [:http://meioambiente.recife.pe.gov.br/sites/default/files/midia/arquivos/pagina-basica/placrecife\\_acaoclimat.pdf](http://meioambiente.recife.pe.gov.br/sites/default/files/midia/arquivos/pagina-basica/placrecife_acaoclimat.pdf). Acesso em 14 out. de 2022.

PREFEITURA DO RECIFE. PMRR - **Plano Municipal de Redução de Riscos em Assentamentos Precários do Município de Recife-PE**, 2006.

QUARIGUASI, J. B. F.; GONÇALVES, H. B. B.; OLIVEIRA, F. H. L DE.; AGUIAR, F. P DE. Estudo da capacidade de suporte da estabilização de solos para pavimentação rodoviária. In: XIX Congresso Brasileiro De Mecânica Dos Solos E Engenharia Geotécnica, 2018, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: ABMS, 2018. p. 205 - 213. [reaproveitamento-de-residuos-solidos-da-construcao-civil-no-brasil/](https://repositorio-abms.org.br/handle/document/1234567890). Acesso em: 03 jan. 2021.

QUEIROZ, M. E. R. de.; OLIVEIRA, J. M. de; LORDSLEEM JÚNIOR, A. C. Boas práticas na redução, reutilização e reciclagem de resíduos na construção de edifícios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 12., 2021. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1–8. DOI: 10.46421/sibragec.v12i00.436. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/436>. Acesso em: 3 jun. 2023.

RANIERI, C. L. W. .; COSTA, L. de A. .; ROSA, P. V. C. . PLANEJAMENTO AMBIENTAL E URBANO DO BAIRRO BEIRA RIO, TUCURUÍ-PA. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 180–196, 2023. DOI: 10.51891/rease.v9i1.8156. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/8156>. Acesso em: 5 jun. 2023.

RECIFE. Jardim Botânico do Recife JBR. **Apresentação**. 2020. Disponível em: <http://jardimbotanico.recife.pe.gov.br/pt-br/apresentacao-1>. Acesos em: 20 mar 2022.

RIBEIRO, V. A. S.; WERDINE, D.; BARBOSA, L. F.; OLIVEIRA, A. F.; BARBOSA, A. M.; SILVA, L. R. R.; RIBEIRO, L. H. Investigação das propriedades físicas e mecânicas do concreto convencional com substituição parcial da areia pelas fibras de bambu. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. e268101321092-e268101321092, 2021.

ROBAINA, L.; TRENTIM, R. **Laboratório LAGEOLAM/UFSM: 25 anos estudando área de risco a desastres naturais- Volume 2**, o período de 2011 a 2015. UFSM. Santa Maria-RS. 2023.

ROCHA, G. S. **Efeito da cal na resposta mecânica de um solo residual maduro: análise da resistência à compressão não confinada, permeabilidade, compressibilidade e efeito da cura acelerada na resistência mecânica**. 2018. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

ROCHA, S. A. **Avaliação da influência de fibras de polipropileno na resistência efetiva de um solo argiloso**. 2019. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

RODRIGUES, Waldecy, MAGALHÃES FILHO, Luiz Norberto Lacerda, PEREIRA, Regiane dos Santos. Análise dos determinantes dos custos de resíduos sólidos urbanos nas capitais estaduais brasileiras. URBE. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Tocantins, 2016. Acesso em 22 de março de 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/urbe/2015nahead/2175-3369-urbe-2175-3369008001AO02.pdf>. Acesso: maio, 2023.

RODRIGUEZ, J. A. S., ZAMORA, J. J. A.; PÉREZ, S. P. M. Uso de los agregados PET en la elaboración del concreto: Revisión de la literatura. **Avances: Investigación En Ingeniería**, Bogotá, v.18, n.2. p. 1 – 12, 2021.

ROOS, A.; BECKER, E. L. S. Educação Ambiental e Sustentabilidade. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S. l.], v. 5, n. 5, p. 857–866, 2012. DOI: 10.5902/223611704259. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/4259>. Acesso em: 16 mar. 2023.

RUDNIAK, A; OLIVEIRA FILHO, P; ANDRADE, A. Aplicação de Técnicas de Análise Espacial para Mapear Áreas Suscetíveis a Enchentes Urbanas. **Geo Uerj**, [S.L.], n. 35, p. 1-18, 21 dez. 2019. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/geouerj.2019.33292>.

SAGRILO, A. V.; NUMMER, A.; PINHEIRO, R. J. B.; BARONI, M. Estabilizações granulométricas e químicas em solo do Campo de Instrução de Santa Maria (CISM). *In: IX Seminário De Engenharia Geotécnica Do Rio Grande Do Sul, 2017, Caxias do Sul. Anais [...]*. Caxias do Sul: ABMS-RS, 2017. p. 185 – 191.

SALATA, A; RIBEIRO, M. **Boletim Desigualdade nas Metrôpoles, edição especial: dados anuais (2012-2021)**. Porto Alegre, n.9, 2022. Disponível em: [https://www.observatoriodasmetropoles.net.br/wp-content/uploads/2022/08/boletim\\_desigualdade-nas-metropoles\\_09-1.pdf](https://www.observatoriodasmetropoles.net.br/wp-content/uploads/2022/08/boletim_desigualdade-nas-metropoles_09-1.pdf). Acesso em 21 set. de 2022.

SANTA ROSA, J. M. de S.; LAFAYETTE, K. P. V.; DANTAS, D. M. de M; SILVA, G. R. da. Produção De Tijolos Ecológicos: Incorporação De Resíduos Alternativos. In: ALMEIDA, I. M. S. de; SILVA, K .A. da; EL-DEIR, S. G. (Orgs.). **Resíduos Sólidos: Gestão e gerenciamento**. 1 ed. Recife: EDUFRPE e Gampe/UFRPE, 2022. p. 351-367

SANTANA, J; SILVA, D; SANTOS, E; SANTOS, G; LISTO, F. Análise da Evolução das Áreas de Perigo a Escorregamentos no Bairro da Macaxeira, Recife (PE). **Revista Equador (UFPI)**, 2019, Vol. 8, Nº 2, p. 240 – 256. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/viewFile/9226/5407>. Acesso em 20 mar 2022.

SANTIAGO, S. A.; BOTARO, V. R. Fibras de sisal impermeabilizadas como reforço em matrizes de solo argiloso. **Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros – Foz do Iguaçu, PR – Outubro/2009**.

SANTOS, A. R. dos. **Enchentes e deslizamentos: causas e soluções-áreas de risco no Brasil**. São Paulo: Pini, 2012.

SANTOS, I. S.; SILVA, F. G. A. da; MOURA JR., J. M. de .; LAFAYETTE, K. P. V. .; KOHLMAN RABBANI, E. R. . Reforço de solo erodível com utilização de fibras: Uma revisão sistemática da literatura. **Conjecturas**, [S. l.], v. 22, n. 6, p. 288–304, 2022. Disponível em: <https://conjecturas.org/index.php/edicoes/article/view/1042>. Acesso em: 3 jun. 2023.

SANTOS, J. **Classificação de Solos- SUCS**. Universidade do Estado de Santa Catarina. Laboratório de Geotecnia e Pavimentação. 2017.

SANTOS, L. A. **Biotecnologia aplicada a RSU e tecnologias de tratamento biológico**. Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.

SANTOS, L. R dos.; CRISPIM, F. A.; PAULO, P. R del. Estabilização de Solos com um aditivo a Base de Enzimas para fins Rodoviários. **Engineering and Science**, Cuiabá, v. 7, n. 3, p. 2-11, 2018.

SANTOS, M. H. S.; MARCHESINI, M. M. P. Logística reversa para a destinação ambientalmente sustentável dos resíduos de construção e demolição (RCD). **Revista**

**Metropolitana de Sustentabilidade** (ISSN 2318-3233), São Paulo, v. 8, n. 2, p. 67–85, 2018. Disponível em: <https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/rms/article/view/1359>. Acesso em: 3 jun. 2023.

SANTOS, M. J. P. **Reforço de um solo erodível com resíduos de construção e fibras de coco babaçu**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2020.

SANTOS, M. M. A.; BELLO, M. I. M. C. V.; SANTOS, Y. R. P. Dimensionamento de geodrenos para um aterro sobre solo mole, a partir de coeficientes de adensamento obtidos em ensaios oedométricos e de piezocone. *In: VIII Congresso Brasileiro de Geossintéticos, 2019, São Carlos. Anais [...].* São Carlos: EESC, 2019. p. 201-208.

SANTOS, T. C. G. et al. Apl como estratégia de gerenciamento dos resíduos sólidos de confecções do agreste Pernambucano. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 5., 2018, Recife. Anais...* Recife: Edufrpe, 2018. v. 5, p. 161 - 172.

SECRETARIA DO PATRIMÔNIO DA UNIÃO - SPU. Relatório para construção da metodologia de conversão de dados cartográficos da SPU. **Ministério do Planejamento**, SPU, 2016.

SILVA, N.; ISHIDA, H.; LUKIANTCHUKI, J.; REIS, J.; SILVA, C. Quebra do grão em Resíduos de Construção Civil (RCC) induzida pelo processo de compactação. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 281-298, mar. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000100221>.

SILVA, T. A. **Análise do comportamento geomecânico de compósitos de solo, resíduos de madeira e de construção para redução de processos erosivos**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2020.

SILVA, T. A. *et al.* Optimization of the dosage of sustainable materials for the stabilization of an erosive soil. **European Academic Research**, v. 9, n. 6, p. 3766-3788, 2021.

SILVA, W. C.; SANTOS, G. O.; ARAÚJO, W. E. L. Resíduos sólidos da construção civil: caracterização, alternativas de reuso e retorno econômico. **R. gest. Sust. Ambient**, Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 286-301, 2017.

SILVEIRA, M. R. **Efeito da inclusão de tiras poliméricas de polietileno tereftalato e da adição de cimento na resistência mecânica de solo arenoso laterítico**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2019.

SILVEIRA, M. V. **Análise do comportamento mecânico e da durabilidade em compósitos de areia reforçada com fibras naturais de carauá e sisal**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

SONG, Jinbo; ZHOU, Yushan; JIN, Lulu; SUN, Yan. Evaluating Sustainability of Urbanization from a Multidimensional Perspective: A Case Study of 11 National Urban

Agglomerations in China. **Journal of Urban Planning and Development**, vol. 147, no. 4, p. 050210471–0502104712, Dec. 2021.

SOUZA, J. M. de; RUDNICK, R. C.; LUKIANTCHUKI, J. A. Evaluation of the incorporation of construction waste (CW) for the stabilization of soil-cement mixtures. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 261-280, out./dez. 2020. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000400471>. Acesso em: 03 out 2022.

SOUZA, J. M. S. R.. **Avaliação dos compósitos de resíduo de marmoraria e de construção civil para fabricação de tijolos de solo cimento**. Recife: UPE, Escola Politécnica, 2022.

SPECHT, Luciano Pivoto. **Comportamento de misturas solo-cimento-fibra submetidas a carregamentos estáticos e dinâmicos visando a pavimentação**. 2000. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

TELES, Juliana Dantas de Andrade; SOUZA, Kauanny Santos; FARIAS, Rafael Guimarães. Análise temporal do índice de vegetação por diferença normalizada (NVDI) na bacia hidrográfica do Rio Branco – BA. São Paulo, UNESP, **Rev Geociências**, v.41, n. 2, p.497-502, 2022.

TOPODATA - Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil. **Acesso aos dados espaciais**. 2011. Disponível em: <https://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 09 mai. 2023.

TRAN, K.Q; SATOMI, T.; TAKAHASHI, H. Effect of Waste Cornsilk Fiber Reinforcement on Mechanical Properties of Soft Soils. **Transportation Geotechnics**, v. 16, p.76-84, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2018.07.003>

VALIPOUR, M.; SHOURIJEH, P. T.; MOHAMMADINIA, A. Application of recycled tire polymer fibers and glass fibers for clay reinforcement. **Transportation Geotechnics**, v. 27, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100474>.

VENTURA, Ana Mafalda F. M. **Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas**. Departamento de Engenharia Química e Biológica, Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2009.

VERDE, V.; SANTOS, A. Riscos geológicos urbanos nos morros da cidade de Recife – Pernambuco. **Revista de Geografia, Programa de Pós- Graduação em Geografia da UFPE**. v. 36, nº 3, Recife, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia>. Acesso em: 12 abr. de 2022.

VIEIRA, B. A.; NOGUEIRA, L. Construção civil: crescimento *versus* custos de produção civil. **Sistemas & Gestão**, Niterói, v. 13, n. 3, p. 366-377, 2018.

WANG, H.; DEMBSEY, N. A.; MEACHAM, B. J.; LIU, S.; SIMEONI, A. Comparison of sensitivity matrix method, power function-based response surface method, and artificial

neural network in the analysis of building fire egress performance. **Journal of Building Engineering**, v. 43, 102860, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102860>. Acesso em: 14 out 2022.

WANG, W.; CHENG, Y.; TAN, G. Design Optimization of SBS-modified asphalt mixture reinforced with eco-friendly basalt fiber based on response surface methodology. **Materials**, v. 11, n. 8, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma11081311>. Acesso em: 03 out 2022.

YARAS, A.; SUTCU, M.; ERDOGMUS, E.; GENCEL, O. Recycling and immobilization of zinc extraction residue in clay-based brick manufacturing. **Journal of Building Engineering**, v. 41, 102421, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102421>. Acesso em: 03 out 2022.

YARBAŞI, N.; KALKAN, E. The Mechanical Performance of Clayey Soils Reinforced with Waste PET Fibers. **International Journal of Earth Sciences Knowledge and Applications**, Erzurum, v. 2, n. 1, p. 19-26, 2020.

YU, Y.; BATHURST, R. J. Probabilistic assessment of reinforced soil wall performance using response surface method. **Geosynthetics International**, v. 24, n. 5, p. 524-542, 2017.