

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
MESTRADO EM DINÂMICA DO ESPAÇO HABITADO**

**PERTINÊNCIA DA TAXA DE PERMEABILIDADE DO SOLO EXIGIDA PELO
CÓDIGO DE URBANISMO E EDIFICAÇÕES DE MACEIÓ: ANÁLISE DAS
SOLUÇÕES TÉCNICAS PROPOSTAS PARA OS EDIFÍCIOS VERTICAIS**

Kelliany Medeiros Costa

**Maceió
2024**

Kelliany Medeiros Costa

**PERTINÊNCIA DA TAXA DE PERMEABILIDADE DO SOLO EXIGIDA PELO
CÓDIGO DE URBANISMO E EDIFICAÇÕES DE MACEIÓ: ANÁLISE DAS
SOLUÇÕES TÉCNICAS PROPOSTAS PARA OS EDIFÍCIOS VERTICAIS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal de Alagoas como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Márcio Toledo

Maceió
2024

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

C837p Costa, Kelliany Medeiros.

Pertinência da taxa de permeabilidade do solo exigida pelo Código de Urbanismo e Edificações de Maceió : análise das soluções técnicas propostas para os edifícios verticais / Kelliany Medeiros Costa. – 2024.

[124] f. : il. color.

Orientador: Alexandre Márcio Toledo.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 117-122.

Anexos: f. [123]-[124].

1. Maceió (AL). Código de urbanismo e edificações. 2. Solos - Permeabilidade. 3. Águas pluviais - Manejo. 4. Plano diretor. I. Título.

CDU: 711.4:349.44(813.5)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
MESTRADO EM DINÂMICA DO ESPAÇO HABITADO

Kelliany Medeiros Costa

**PERTINÊNCIA DA TAXA DE PERMEABILIDADE DO SOLO EXIGIDA PELO
CÓDIGO DE URBANISMO E EDIFICAÇÕES DE MACEIÓ: ANÁLISE DAS
SOLUÇÕES TÉCNICAS PROPOSTAS PARA OS EDIFÍCIOS VERTICAIS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal de Alagoas como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo

APROVADA em 27/ 02/ 2024

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
ALEXANDRE MARCIO TOLEDO
Data: 12/03/2025 08:23:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. ALEXANDRE MÁRCIO TOLEDO (Orientador)
Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo – PPGAU/UFAL



Documento assinado digitalmente
CONCEICAO DE MARIA ALBUQUERQUE ALVES
Data: 12/03/2025 08:41:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE ALVES (Examinadora Externa)
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – UNB



Documento assinado digitalmente
HELIOFABIO BARROS GOMES
Data: 12/03/2025 10:06:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. HELIOFÁBIO BARROS GOMES (Examinador Interno)
Instituto de Ciências Atmosféricas – UFAL



Documento assinado digitalmente
MARIA LUCIA GONDIM DA ROSA OITICICA
Data: 15/03/2025 09:05:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a MARIA LUCIA GONDIM DA ROSA OITICICA (Examinadora Interna)
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL

"A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original"
Albert Einstein

AGRADECIMENTO

Quero expressar minha gratidão a Deus.

À minha mãe, Maria Celsa, por me incentivar na busca do conhecimento, sendo uma força que impulsionou minha busca pelos sonhos. Ao meu pai, Milton, minha gratidão pelo amor e dedicação. Ambos são pilares que sustentaram minha jornada na conquista dos meus objetivos.

Aos meus irmãos, Amanda e Aelson, e aos sobrinhos, Sofia, Byan Lucas, Henrique e Ryan Victor. A torcida e o companheirismo foram elementos que conferiram significado a esta jornada acadêmica. Suas presenças iluminaram meu caminho, e cada gesto de encorajamento representou um impulso em direção ao meu sucesso. Agradeço por serem a minha base sólida.

Ao meu esposo Ednor, por sua presença constante, amor e compreensão. Cada conquista é uma celebração da solidez e cumplicidade da nossa parceria.

À minha sogra, Tânia, obrigada por incluir-me em suas orações e por desejar a conclusão bem-sucedida desta jornada. Suas palavras de apoio foram um suporte emocional ao longo desse percurso desafiador.

Ao meu orientador, Dr. Alexandre Toledo, agradeço a paciência e generosidade ao compartilhar seu conhecimento.

À professora, Dra. Tânia, desde a graduação, que me incentivou na área da pesquisa e embarcou na jornada do mestrado.

À minha amiga Taís, por guiar meus passos em todas as fases da jornada, e por isso, sou eternamente grata. À arquiteta Livia Martins, suas palavras iluminaram o meu caminho. Seu incentivo para que eu ingressasse no programa foi transformador. Ao meu amigo Gírleno, agradeço por estar presente em cada etapa, pelo suporte contínuo e colaboração durante os estudos, além da amizade genuína ao longo desta jornada.

RESUMO

O Código de Edificações de Maceió define parâmetros urbanísticos para a taxa de permeabilidade do solo em terrenos com área superior a 1.200 m², variando entre 5% e 15%. Para edifícios verticais altos com pavimento subsolo para estacionamento, ocupando geralmente 100% da área do lote, a legislação permite a apresentação de soluções técnicas para atender a esses parâmetros. O objetivo deste estudo foi analisar as soluções técnicas, considerando diferentes bairros e tipos de solos da cidade. A pesquisa incluiu a caracterização do solo, as taxas de permeabilidade mínima, a curva de retenção de água, a rede de drenagem e a rede de recarga hidráulica (infiltração/percolação), analisando 7 projetos em 6 bairros. Para a caracterização do solo, foi utilizado um laudo técnico de uma empresa de fundações local. Os resultados indicaram que, embora sete projetos tenham sido aprovados pela Prefeitura de Maceió, apenas dois (o Edifício C e o Corporativo de Saúde) atendem adequadamente aos requisitos estabelecidos, implementando sistemas eficientes de segregação entre águas pluviais e servidas, além de soluções adequadas de recarga hidráulica. Esses projetos demonstram boas práticas de gestão hídrica e conformidade com as normas de drenagem. Em contrapartida, os projetos dos Edifícios A, B, D, E e da Unidade Hoteleira apresentaram falhas significativas, principalmente no que diz respeito à interligação inadequada entre águas pluviais e servidas e ao direcionamento das águas pluviais para a rede de esgoto. A instalação de extravasores e a falta de separação entre os sistemas comprometeram a eficiência dos projetos de drenagem, podendo sobrecarregar a infraestrutura pública e prejudicar a sustentabilidade hídrica da cidade. A implementação de soluções temporárias, como o direcionamento das águas pluviais para sistemas inadequados, elevou o risco de alagamentos e afetou o equilíbrio ambiental da área. Conclui-se que os projetos de drenagem analisados não resolveram a questão da permeabilidade do solo e que o parâmetro urbanístico relacionado à taxa de permeabilidade do solo se mostrou inadequado, especialmente em solos argilosos e em áreas com lençol freático superficial.

Palavras-chave: taxa de permeabilidade, manejo de águas pluviais, plano diretor

ABSTRACT

The Maceió Building Code defines urban parameters for the soil permeability rate on lots with an area greater than 1,200 m², ranging from 5% to 15%. For tall vertical buildings with basement parking, generally occupying 100% of the lot area, the legislation allows the presentation of technical solutions to meet these parameters. The objective of this study was to analyze the technical solutions, considering different neighborhoods and soil types in the city. The research included soil characterization, minimum permeability rates, water retention curve, drainage network and hydraulic recharge network (infiltration/percolation), analyzing 7 projects in 6 neighborhoods. For soil characterization, a technical report from a local foundation company was used. The results indicated that, although seven projects were approved by the City of Maceió, only two (Building C and the Health Corporation) adequately met the established requirements, implementing efficient systems for segregating rainwater from wastewater, in addition to adequate solutions for hydraulic recharge. These projects demonstrate good water management practices and compliance with drainage standards. In contrast, the projects for Buildings A, B, D, E and the Hotel Unit presented significant flaws, mainly with regard to inadequate interconnection between rainwater and wastewater and the direction of rainwater to the sewage system. The installation of overflows and the lack of separation between the systems compromised the efficiency of the drainage projects, potentially overloading the public infrastructure and harming the city's water sustainability. The implementation of temporary solutions, such as directing rainwater to inadequate systems, increased the risk of flooding and affected the environmental balance of the area. It is concluded that the drainage projects analyzed did not resolve the issue of soil permeability and that the urban parameter related to the soil permeability rate proved to be inadequate, especially in clayey soils and in areas with shallow water tables.

Keywords: permeability rate, stormwater management, master plan

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução das cidades na gestão das águas urbanas	26
Figura 2: Tipos predominantes de sistemas de drenagem urbana por municípios.....	27
Figura 3: Alterações no ciclo hidrológico em decorrência da urbanização	32
Figura 4: Cadeia de gestão dos SUDS	33
Figura 5: Cortes esquemáticos dos sistemas de infiltração de águas pluviais	34
Figura 6: Escalas urbanas e suas camadas	36
Figura 7: Etapas da permeabilidade do solo	38
Figura 8: Corte esquemático para pavimento de concreto permeável	40
Figura 9: Câmara de pressão de Richard (A B C).....	41
Figura 10: Procedimento de coleta da amostra indeformada	42
Figura 11: Amostras preparadas de acordo com o procedimento	42
Figura 12: Amostras sobre a membrana conectada ao dreno da câmara de pressão.....	43
Figura 13: Mapa com a identificação das Bacias de drenagem de Maceió	50
Figura 14: Etapas do processo ProKnow-C	61
Figura 15: Fluxograma utilizado para elaboração da pesquisa	62
Figura 16: Localização do município de Maceió	64
Figura 17: Bairros selecionados do estudo.....	66
Figura 18: Etapas para avaliação dos projetos de drenagem.....	68
Figura 19: Edifício A	75
Figura 20: Válvula de controle e extravasor multi sifão	78
Figura 21: Trecho da vala de drenagem	79
Figura 22: Válvula de controle e extravasor multi sifão	80
Figura 23: Localização do edifício B no bairro Jatiúca	81
Figura 24: Segmento do projeto com os registros de coleta	85
Figura 25: Trecho da passagem da bomba com recalque e extravasor	85
Figura 26: Segmento do projeto que exhibe os reservatórios e valas de infiltração	86
Figura 27: Modelagem em 3D do edifício C	87
Figura 28: Detalhe do corte das caixas sifonadas no pavimento da cobertura.....	90
Figura 29: Modelagem em 3D do edifício D	90
Figura 30: Trecho da rede de descarga hidráulica.....	91
Figura 31: Modelagem de 3D do edifício E.....	92
Figura 32: Especificações do sistema de drenagem no subsolo do edifício E	93

Figura 33: Diferença mínima adotada para evitar retorno das águas pluviais	94
Figura 34: Corte detalhado do poço de recalque	96
Figura 35: Ilustração das instalações dos extravasores	97
Figura 36: Corte esquemático com o nível do subsolo e vala de infiltração.....	98
Figura 37: Unidade hoteleira.....	99
Figura 38: Corte longitudinal da rede de recarga hidráulica.....	102
Figura 39: Corporativo de saúde	103
Figura 40: Croqui da locação da retirada da areia e silte arenoso.....	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: As fases e características da drenagem urbana no Brasil	25
Quadro 2: Principais diferenças entre a abordagem convencional e alternativa.....	30
Quadro 3: Porcentagem dos principais solos do Nordeste	49
Quadro 4: Etapas e características no desenvolvimento de águas urbanas	53
Quadro 5: Estudo comparativo do Plano Diretor do ano de 1985 - 2015	54
Quadro 6: Taxa de permeabilidade mínima de Maceió- AL e Natal-RN	56
Quadro 7: Taxa de permeabilidade mínima de Recife - PE.....	58
Quadro 8: Principais referências com base nos artigos e títulos.....	63
Quadro 9: Caracterização dos objetos de estudo.....	66
Quadro 10: Tipos de solo e suas respectivas bacia hidrográficas	67
Quadro 11: Divisão das áreas de captação das águas pluviais.....	77
Quadro 12: Identificação das caixas sifonadas do edifício B	83
Quadro 13: Concepção das Águas Pluviais	88
Quadro 14: Concepção das águas pluviais.....	100
Quadro 15: Concepção das águas pluviais.....	104
Quadro 16: Soluções técnicas adotadas	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fórmulas para o cálculo do potencial de águas pluvial.....	28
Tabela 2: Dados fornecidos pelo laboratório de Recife-PE	71
Tabela 3: Especificações do solo e suas respectivas tensões	106
Tabela 4: Tensão Admissível do Solo (kg/cm ²).....	107

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Quantidade de dias de chuva em regiões do nordeste	39
Gráfico 2: Comparação da curva de retenção para diferentes tipos de solo	44
Gráfico 3: Porcentagem dos principais solos da região Nordeste do Brasil	45
Gráfico 4: Definições das palavras-chaves	63
Gráfico 5: Curva de retenção de água no solo	73
Gráfico 6: Discrepância entre observado e predito	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SbN – Soluções baseadas na Natureza

SEDET – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

SNIS-AP – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Águas Pluviais

SUDS – Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável

SAAPs – Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CVs – Coeficiente de Variação

SI – Sistema de Infiltração

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

CC – Capacidade de Campo

PMP – Ponto de Murcha Permanente

NDC – Número de Dias de Chuva

Ip – Índice de Permeabilidade

SPT – Teste de Penetração Padrão

AD – Água Disponível

APs – Aproveitamento Pluvial

SEMINFRA – Secretaria Municipal de Infraestrutura

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	18
PROBLEMAS DE PESQUISA.....	20
JUSTIFICATIVA.....	20
OBJETIVO GERAL.....	21
OBJETIVO ESPECÍFICOS	21
CAPÍTULO 1: REFERENCIAL TEÓRICO	23
1.1 Evolução Histórica do Sistema de Drenagem	23
1.2 O sistema de drenagem no Brasil.....	24
1.3 A Contribuição das normas para o aproveitamento das águas pluviais	27
1.3.1 Comparação entre Técnicas Convencionais e Alternativas no Manejo de Águas Pluviais.....	29
1.4 Estimativa do potencial de aproveitamento hídrico	35
1.5 Cálculo da taxa de permeabilidade do solo	37
1.5.1 A relação entre índices pluviométricos e taxa de permeabilidade	38
1.5.2 Curva de retenção da água no solo	41
1.6 Características do solo no Nordeste do Brasil.....	45
1.6.1 As principais características geológicas do solo de Maceió.....	46
1.6.2 Diferenças entre os solos argilosos e arenosos nos bairros de estudo em Maceió	47
1.6.3 Lençol freático e seus impactos em águas subterrâneas.....	48
1.7 Divisão das bacias hidrográficas de Alagoas	50
1.7.1 A Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú	51
1.7.2 Bacia de Drenagem Sudeste Oceano Atlântico	51
1.7.3 Bacia Hidrográfica do Riacho das Águas Férreas.....	52
1.8 Desenvolvimento Urbano e Verticalização: Uma Análise do Contexto em Maceió.....	52

1.9 Análise Comparativa dos Códigos de Edificações das Cidades de Maceió (AL), Natal (RN) e Recife (PE)	55
1.10 Considerações do Capítulo 1	59
CAPÍTULO 2: MATERIAIS E MÉTODOS	61
2.1 Aplicação do método Proknow-C para a seleção dos artigos	61
2.1.1 Seleção do banco de artigos brutos	62
2.1.2 Portfólio bibliográfico	63
2.2 Recorte geográfico	64
2.3 Coletas dos dados	65
2.4 Seleção dos bairros	66
2.5 Caracterização dos solos e bacias hidrográficas.....	67
2.6 Curva de retenção de água no solo	67
2.7 Critérios para análise dos projetos de drenagem	68
CAPÍTULO 3: CÁLCULO DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO PARA MACEIÓ	70
3.1 Cálculo da Curva de Retenção	70
3.1.1 Dados experimentais	70
3.1.2 Modelagem da curva	70
3.2 Representação Gráfica.....	72
3.3 Gráfico de Discrepância ($\theta - \theta_p$).....	73
4.1 Edifício multifamiliar A - 15% de taxa de permeabilidade.....	75
4.1.1 Rede de Drenagem	76
4.1.2 Rede de Recarga Hidráulica – Infiltração/Percolação.....	79
4.2 Edifício multifamiliar B - 10% de taxa de permeabilidade.....	81
4.2.1 Rede de Drenagem	82
4.2.2 Rede de Recarga Hidráulica – Infiltração/Percolação.....	86
4.3 Edifício multifamiliar C - 10% de taxa de permeabilidade.....	87
4.3.1 Rede de Drenagem	87

4.3.2 Rede de Recarga Hidráulica – Infiltração/Percolação.....	89
4.4 Edifício multifamiliar D – 5% de taxa de permeabilidade.....	90
4.4.1 Rede de Drenagem	91
4.4.2 Rede de Recarga Hidráulica – Infiltração/Percolação.....	91
4.5 Edifício multifamiliar E - 5% de taxa de permeabilidade	92
4.5.1 Rede de Drenagem	92
4.5.2 Rede de Recarga Hidráulica – Infiltração/Percolação.....	95
4.6 Unidade Hoteleira – 10% de taxa de permeabilidade	99
4.6.1 Rede de Drenagem	99
4.6.2 Rede de Recarga Hidráulica – Infiltração/Percolação.....	101
4.7 Corporativo de saúde – 5% de taxa de permeabilidade.....	102
4.7.1 Rede de Drenagem	103
4.7.2 Rede de Recarga Hidráulica - Infiltração/Percolação	105
4.8 Considerações gerais sobre os projetos analisados	108
CONCLUSÃO	112
REFERÊNCIAS	117
ANEXOS.....	123

INTRODUÇÃO

A transformação das superfícies naturais do solo pelo ambiente urbano resulta em alterações climáticas significativas. Desde 1981, estudos apontam que a urbanização provoca mudanças nos parâmetros climáticos, como nebulosidade, temperatura do ar, precipitação, velocidade do vento, radiação solar e redução da umidade relativa (Landsberg, 1981). Existe os fatores como a densidade das edificações, as propriedades dos materiais e a ocupação do solo exercem grande influência no clima urbano (Cavalcante, 2019).

Com o passar dos anos, a gestão das águas pluviais foi sendo aprimorada, integrando técnicas relacionadas à dinâmica hídrica urbana. Sistemas de drenagem compostos por superfícies e condutos urbanos passaram a conduzir águas pluviais para cursos naturais, auxiliando na mitigação de transtornos sazonais. Em 2020, a atualização da Lei Federal 11.445/2007 consolidou os quatro pilares essenciais do saneamento básico no Brasil: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, reforçando a importância do manejo adequado das águas pluviais (Brasil, 2020).

Na sequência, a aplicação de tecnologias avançadas, como sistemas de drenagem sustentável e métodos de armazenamento de água da chuva, passou a ganhar destaque (Mays et al. 2019). Essas iniciativas visam melhorar a qualidade da água e reduzir o escoamento superficial (Fletcher et al., em 2016). Enfatizaram a necessidade de integrar políticas de ordenamento territorial e planejamento urbano, considerando a drenagem de águas pluviais.

As obras de engenharia sanitária também evoluíram, abrangendo ações estruturais, como a construção de bacias de retenção e pavimentos porosos, e não estruturais, que priorizam melhorias na gestão dos sistemas existentes. O desenvolvimento da drenagem urbana seguiu duas fases principais: a tradicional, focada no controle de enchentes por meio da remoção rápida das águas, e a sustentável, centrada na retenção e infiltração, em consonância com a Lei nº 11.445/2007 (Righetto, 2009).

A partir de 2015, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 6 e o ODS 11, reforçaram metas globais para o saneamento básico e a urbanização sustentável até 2030. Além disso, em 2017, a Lei Complementar nº 929 destacou a necessidade de serviços de drenagem e gerenciamento de águas pluviais nos municípios, com ênfase no tratamento, limpeza e fiscalização das redes.

O Plano Diretor Urbano tornou-se peça fundamental no ordenamento territorial e na definição de normas técnicas para construções, conforme o Código de Urbanismo e Edificações. Desse modo, organizar espaços urbanos e promover qualidade de vida,

integrando estratégias de enfrentamento às mudanças climáticas. Em Maceió, o Capítulo IV do Código de Urbanismo e Edificações estipulou que lotes acima de 1.200m² devem reservar entre 5% e 15% de área natural, considerando a preservação ambiental e a melhoria da infraestrutura urbana (Bai et al.,2018).

Por fim, as diretrizes municipais priorizam a gestão eficiente das águas pluviais para mitigar os desafios relacionados aos alagamentos, assegurando um desenvolvimento urbano sustentável e alinhado às legislações nacionais e internacionais.

PROBLEMAS DE PESQUISA

Este estudo investiga como os projetistas em Maceió estão implementando soluções técnicas para mitigar a impermeabilização do solo, conforme as diretrizes do Código de Urbanismo e Edificações, diante dos desafios decorrentes do crescimento populacional e da rápida expansão urbana. A construção de edifícios verticais, muitas vezes acompanhada pela utilização de pavimentos subterrâneos para garagens, resulta na ocupação total da área do terreno, o que compromete as normas de permeabilidade do solo.

Além disso, a eficácia das soluções adotadas para minimizar os impactos ambientais e aumentar a resiliência a eventos extremos, como chuvas intensas e enchentes, pode variar de acordo com o tipo de solo. Portanto, surge a questão sobre a efetividade das diretrizes do código em facilitar a drenagem das águas pluviais e estimular o aproveitamento da água da chuva, assim como a aplicação prática dessas diretrizes no contexto da sustentabilidade ambiental.

JUSTIFICATIVA

A análise da impermeabilização do solo em Maceió é de suma importância, considerando o crescimento populacional e a expansão urbana acelerada que a cidade vem enfrentando. A construção de edifícios verticais, muitas vezes ocupando completamente as áreas de terreno, não seguindo as recomendações normativas sobre a permeabilidade do solo e compromete a gestão das águas pluviais. Nesse contexto, verifica-se como os projetistas estão implementando as diretrizes do Código de Urbanismo e Edificações e quais soluções técnicas estão sendo adotadas para mitigar os impactos ambientais resultantes da impermeabilidade.

Além disso, a eficácia dessas soluções em aumentar a resistência da infraestrutura urbana a eventos extremos, como chuvas intensas e enchentes, depende de diversos fatores, incluindo a natureza do solo e sua capacidade de absorção. Assim, a pesquisa se justifica não apenas pela necessidade de analisar a conformidade das práticas dos projetos com as normativas, mas também pela relevância de promover uma gestão sustentável do espaço urbano.

OBJETIVO GERAL

O presente trabalho analisa os projetos aprovados pelo setor municipal em áreas destinadas à construção de edifícios multifamiliares, empreendimentos hoteleiros e corporativo de saúde. A pesquisa concentra-se na interação entre a taxa mínima de permeabilidade exigida e a eficácia das medidas técnicas adotadas para mitigar a impermeabilização do solo. Além disso, avalia a adequação das normativas vigentes e sugere melhorias para o processo regulatório da cidade, com o objetivo de promover um desenvolvimento urbano sustentável.

OBJETIVO ESPECÍFICOS

- A pesquisa objetiva aprofundar a importância da taxa de permeabilidade do solo em áreas superiores a 1.200 m², conforme estabelecido pelo Código de Urbanismo e Edificações de Maceió/AL;
- Classificar os principais tipos de solos com base nos relatórios de sondagem fornecidos pelo laboratório de Maceió/AL;
- Categorizar os tipos de solo identificados em seus respectivos bairros na parte alta e na parte baixa da cidade de Maceió/AL;
- Elaborar a curva de retenção solo-água com a representação gráfica que ilustra a relação entre a umidade do solo e a tensão (ou pressão) de água no solo. Essa curva é fundamental para gerenciar os efeitos da impermeabilização do solo, contribuindo para o planejamento urbano sustentável e a mitigação de problemas relacionados à água.
- Analisar se os projetos de drenagem dos edifícios verticais altos, aprovados pela prefeitura de Maceió, cumprem os requisitos estabelecidos no Código de Urbanismo e Edificação de Maceió/AL.

ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 1, realiza-se uma revisão do sistema de drenagem e das práticas de manejo das águas pluviais, começando com uma análise histórica da evolução dos métodos de drenagem no Brasil e em outros países. O capítulo explora as características gerais dos sistemas de drenagem, a contribuição das normas para o aproveitamento das águas pluviais, e compara técnicas convencionais e alternativas de manejo, especialmente em edificações verticais. Também aborda a estimativa do potencial hídrico, o cálculo da taxa de permeabilidade do solo, a relação com os índices pluviométricos, além de examinar as características dos solos em Maceió, os seus impactos do lençol freático e a bacia hidrográfica do rio Mundaú. Finalizando com a comparação dos códigos de edificações das cidades de Maceió, Natal e Recife, destacando as diferenças e semelhanças nas regulamentações sobre impermeabilidade e manejo das águas pluviais.

No capítulo 2, a metodologia é baseada no método Proknow-C, que orienta a seleção de artigos relevantes. Em seguida, é detalhado o processo de seleção dos artigos brutos, garantindo a qualidade e pertinência das fontes. Detalha-se o recorte das áreas geográficas de estudo e os procedimentos de coleta de dados, além da seleção dos bairros que foram analisados. Realiza-se a caracterização dos solos e das bacias hidrográficas também é abordada, enfatizando a relevância desses elementos para o estudo. A curva de retenção de água no solo é apresentada como uma ferramenta chave para compreender a dinâmica hídrica. Por fim, são definidos os critérios para a análise dos projetos de mudança, constituindo uma base para avaliar a eficácia das soluções inovadoras na gestão das águas pluviais.

No capítulo 3, detalha-se os dados do Teste de Penetração Padrão (SPT) e a curva de retenção de água no solo. Assim como as soluções técnicas adotadas em Edifício Multifamiliar classificados como A, B, C, D, E, unidade hoteleira e corporativo de saúde, informando-se os aspectos da capacidade de infiltração e diretrizes para destinação das águas pluviais.

CAPÍTULO 1: REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, apresenta-se uma revisão abrangente do sistema de drenagem e das práticas de manejo das águas pluviais. A análise histórica detalha o desenvolvimento dos sistemas de drenagem, evidenciando a evolução dos métodos ao longo do tempo. E examina as características gerais desses sistemas no Brasil, enfatizando a importância das normas para o aproveitamento das águas pluviais, compara técnicas convencionais e alternativas de manejo, além de discutir estratégias específicas para edificações verticais. A estimativa do potencial hídrico é abordada, incluindo o cálculo da taxa de permeabilidade do solo e sua interação com índices pluviométricos. Nota-se a diversidade das características dos solos, com foco no nordeste do Brasil e na cidade de Maceió, destacando-se as diferenças entre solos argilosos e arenosos. Analisa o impacto do lençol freático sobre as águas subterrâneas em relação à sua geologia e geomorfologia. E realiza uma análise comparativa dos códigos de edificações das cidades de Maceió, Natal e Recife, ressaltando tanto as diferenças quanto as semelhanças nas regulamentações de impermeabilidade e nas práticas de manejo das águas pluviais.

1.1 Evolução Histórica do Sistema de Drenagem

A trajetória evolutiva da civilização tem empregado diversas técnicas para gerenciar o fluxo das águas pluviais nos assentamentos humanos. Drenos rudimentares e sarjetas, datados por volta de 3.000 a.C. em civilizações indianas e mesopotâmicas, até a evolução dos sistemas de saneamento na era moderna. Nesse contexto, a implementação de redes de esgoto e sistemas canalizados de distribuição de água marcam uma transição (Maner,1996).

Historicamente, essa evolução ampliou-se na Idade Moderna, quando os sistemas de drenagem não eram inicialmente considerados infraestruturas essenciais para o ordenamento do desenvolvimento nos centros urbanos. No século XVII, surgiram os primeiros sistemas de drenagem pluvial nos centros urbanos, com a abertura de valas para direcionar as águas das chuvas ao receptor mais próximo, prevenindo inundações. Com o desenvolvimento das cidades, essa solução tornou-se higiênica devido à mistura da água com o lixo (Lourenço, 2014).

Na segunda metade do século XIX, o método Racional foi desenvolvido nos Estados Unidos e na Inglaterra, estabelecendo uma relação matemática entre as chuvas e o escoamento superficial. Isso representou um avanço em relação aos métodos baseados principalmente em observações práticas, que eram comuns no dimensionamento dos condutos pluviais até então (Tomaz, 2010).

No século XX, países desenvolvidos, especialmente na Europa e nos Estados Unidos, começaram a elaborar legislações específicas para regular os sistemas de esgotamento sanitário e pluvial. Como resultado, os sistemas de abastecimento de água e esgoto tiveram

um impacto positivo na saúde pública, contribuindo para o aumento da expectativa de vida (Feo, 2014).

Como exemplo, em contextos urbanos da Espanha, França e Portugal, foram desenvolvidos projetos reconhecidos como higienistas, com foco na separação das águas. Esses projetos incorporaram técnicas para aprimorar os sistemas artificiais de condução e promover a impermeabilização do solo, destacando a importância de reduzir os riscos sanitários e estimular ambientes urbanos mais saudáveis (Matos, 2003a).

1.2 O sistema de drenagem no Brasil

No meio do século XIX, o sistema de drenagem passou por três fases distintas. A primeira fase envolveu a implementação das primeiras canalizações de águas pluviais e esgoto em importantes centros urbanos como São Paulo, Rio de Janeiro, Recife e Belo Horizonte, consolidando o uso de técnicas higienistas. A segunda fase foi caracterizada pelo movimento higienista, que promoveu a adoção de métodos racionais e a normatização dos cálculos hidrológicos para o dimensionamento de obras hidráulicas. A terceira fase representou avanços significativos em tecnologia e gestão de recursos hídricos, com foco na melhoria da infraestrutura e na implementação de medidas socioeconômicas sustentáveis (Silveira, 1998).

Entre os séculos XVIII e XIX, nas cidades de Recife, Salvador e Ouro Preto, ocorreu a implantação do sistema de chafarizes. O sistema de esgotamento sanitário, por sua vez, era realizado por meio da exploração dos negros escravizados, que tinham a responsabilidade de transportar fezes em vasilhas para serem descartadas em valas ou no mar (Murtha et al., 2015).

Durante o período colonial, em meados do século XVII, surgiram as primeiras iniciativas de saneamento no Brasil, especialmente em Pernambuco e no Rio de Janeiro. Em Pernambuco, foi estabelecido um sistema de abastecimento comunitário de água que canalizava recursos hídricos dos rios para atender às necessidades da população local. No Rio de Janeiro, destacam-se a canalização do rio Carioca, a construção de chafarizes e o Aqueduto da Carioca, inaugurado em 1750 e financiado por meio de tributos sobre produtos. Este projeto tornou-se um marco significativo, pois contribuiu de forma relevante para suprir a crescente demanda urbana da época (Murtha et al., 2015).

A história da drenagem urbana no Brasil revela fases distintas, que abrangem períodos pré-higienistas, de racionalização e normatização, além da correção de problemas específicos (Quadro 1). Atualmente, a gestão do manejo das águas nas cidades está cada vez mais voltada para o desenvolvimento do Sistema de Bacia Natural (SbN).

FASES	PERÍODO	CARACTERÍSTICAS
PRÉ-HIGIENISTA	Anterior ao século XX	❖ Esgoto em fossas ou diretamente nas ruas ❖ Efluentes sem coleta ou tratamento ❖ Epidemias e doenças com altas taxas de mortalidade
FASE HIGIENISTA	A partir de 1889	❖ Intensas reformas urbanísticas ❖ Crescimento demográfico de muitas cidades ❖ Aplicação direta de métodos de dimensionamento desenvolvidos para cidades europeias, sem validação local ❖ Degradação de rios e mananciais
RACIONALIZAÇÃO E NORMATIZAÇÃO	Entre 1930 e 1970	❖ Pouca evolução de aquisição de dados básicos e na realização de novos estudos hidrológicos de abrangência nacional ❖ Desenvolvimento de instrumentos de obras hidráulicas ❖ Uniformização das práticas de cálculo hidrológico na drenagem
FASE CORRETIVA	Entre 1970 e 1990	❖ Disponibilidade maior de informações e dados ❖ Tendência mundial de simular o ciclo hidrológico, principalmente a transformação chuva-vazão e algoritmos matemáticos ❖ Sistema separador absoluto ❖ Tratamento dos esgotos sanitários ❖ Amortecimento dos escoamentos pluviais ❖ Melhorar qualidade da água nos rios ❖ Uniformização das práticas de cálculo hidrológico na drenagem
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	Após 1990	❖ Controle na fonte, incentivo à infiltração e à retenção das águas pluviais ❖ Tratamento do esgoto pluvial ❖ Menor interferência ao ciclo hidrológico ❖ Proposição de modelos que integram gestão das águas urbanas, abastecimento, esgotamento sanitário e drenagem urbana ❖ Conservação ambiental ❖ Melhoria da qualidade de vida ❖ Controle das inundações
SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA	A partir de 2018	❖ Consciência ampliada no cuidar das águas ❖ Atuação centrada em diálogos e atenção aos ecossistemas hídricos ❖ Gestão das águas em sintonia com a natureza, por exemplo: SbN ❖ Combinação do conhecimento e de práticas convencionais da engenharia com as teses de desenvolvimento sustentável e preocupações com as mudanças climáticas

Quadro 1: As fases e características da drenagem urbana no Brasil

Fonte: Adaptado de Silveira (1998)

A fundamentação técnica e ideológica subjacente aos empreendimentos de drenagem urbana pluvial é identificada como higienismo. O modelo Haussmanniano serviu de inspiração para engenheiros e arquitetos brasileiros, incluindo Prestes Maia (São Paulo), e políticos como Francisco Pereira Passos (Rio de Janeiro) e Hercílio Luz (Santa Catarina). Esse

modelo motivou a reconfiguração dos espaços urbanos em consonância com os princípios da modernidade (Azevedo, 2021).

A interação entre água e cidade ao longo da gestão do manejo das águas urbanas está evidente em cidades situadas ao longo de cursos d'água, no ciclo hidrológico e no abastecimento de água (Figura1). Cada um desses aspectos envolve uma complexa interação de influências sociopolíticas e serviços prestados.

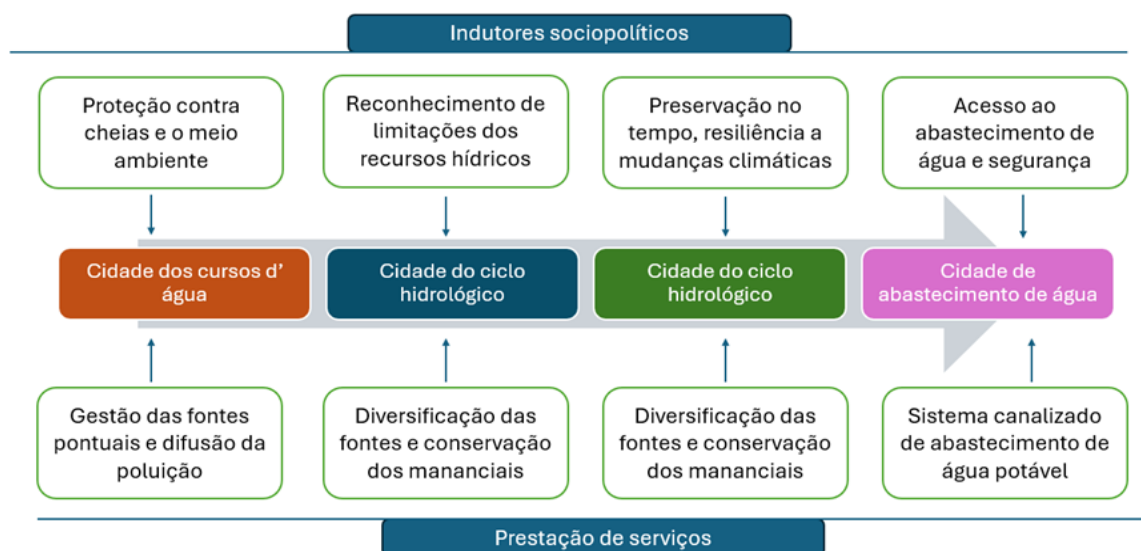


Figura 1: Evolução das cidades na gestão das águas urbanas

Fonte: Adaptado de Brown, et al. (2009).

Ao longo dos anos, houve um progresso significativo no sistema de drenagem urbana no Brasil, impulsionado pelo crescimento populacional nas áreas urbanas, aumento demográfico e maior conscientização ambiental, especialmente no manejo das águas. No entanto, o sistema de drenagem enfrenta desafios e problemas que impactam sua eficácia e sustentabilidade. É essencial adotar soluções que fortaleçam a capacidade das cidades de lidar com as chuvas, ao mesmo tempo que promovam a adequação socioambiental e protejam os recursos hídricos.

No país, o sistema separador é o predominante (Figura 2), encontrado em 1.985 municípios (54,3%), em contraste com os 551 municípios (15,1%) que não possuem sistema de drenagem. Municípios não categorizados em um sistema formal totalizando 295 (8,1%). O sistema unitário é adotado por 822 municípios (22,5%), e há falta dos dados disponíveis para classificar o sistema em 1.917 municípios.

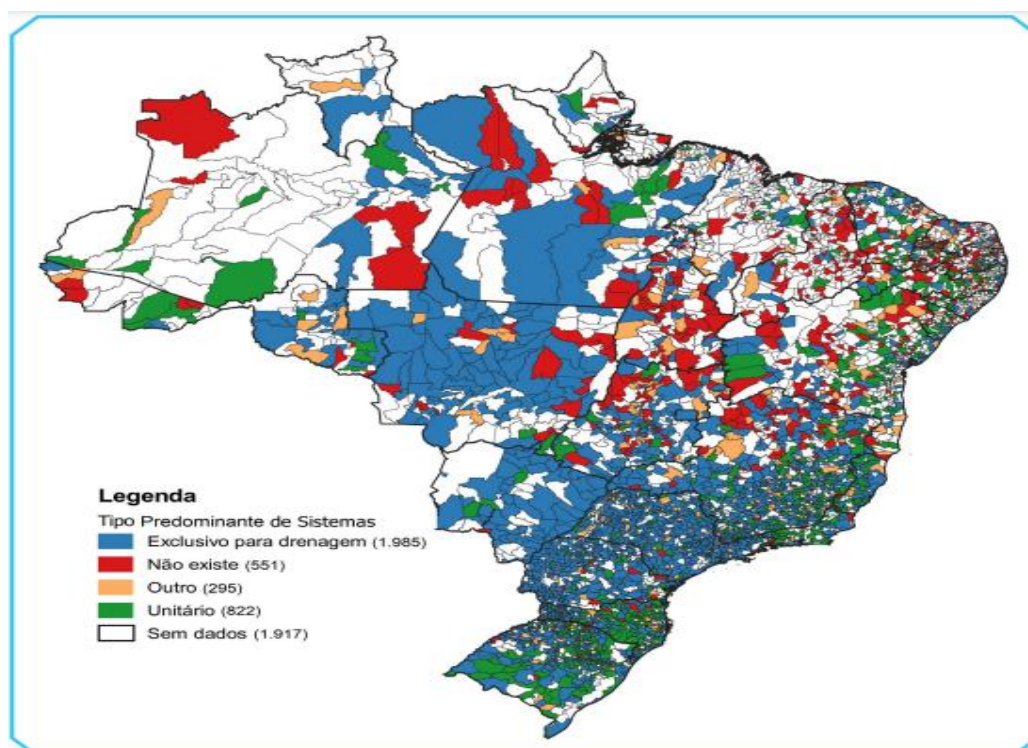


Figura 2: Tipos predominantes de sistemas de drenagem urbana por municípios
Fonte: SNIS-AP, 2019

A NBR 15527 é a norma brasileira da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que trata sobre "Drenagem Urbana – Diretrizes para o Projeto de Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais". Essa norma estabelece critérios e diretrizes para o planejamento e a execução de sistemas de drenagem urbana, abordando aspectos como o dimensionamento, a eficiência e a proteção ambiental.

A norma aborda os dois tipos principais de sistemas de drenagem: o sistema unitário, que utiliza uma única rede de coletores para transportar tanto águas pluviais quanto esgotos sanitários, e o sistema separador absoluto, que possui redes de coletores distintas para cada tipo de efluente. Essa separação ajuda a reduzir o risco de sobrecarga durante eventos de chuvas intensas. A definição do sistema no regulamento visa garantir a eficiência na gestão das águas pluviais e dos esgotos sanitários, promovendo a proteção ambiental e a saúde pública no contexto urbano brasileiro (Silveira, 1998).

1.3 A Contribuição das normas para o aproveitamento das águas pluviais

A crescente escassez dos recursos hídricos tem impulsionado a busca por métodos inovadores que promovam o uso sustentável das águas pluviais, visando não apenas economizar água potável, mas também de mitigar a escassez hídrica (Correia et al., 2019). O

dimensionamento do potencial de aproveitamento das águas pluviais é estabelecido por fórmulas matemáticas que dependem de vários fatores, como o consumo médio de água no sistema (Tabela 1), que permite avaliar a eficiência da gestão sustentável dos recursos hídricos. Desse modo, o sistema de captação e condução das águas pluviais é fundamental na metodologia desenvolvida por Ghisi et al. (2006).

Equação	Variáveis
$PD = \frac{PC}{NDC}$	PC: Total populacional de cada cidade NDC: Quantidade de ligações ativas de água em cada cidade PD: Pessoas por domicílio
$ND = \frac{NP}{PD}$	NP: Total de pessoas atendidas pelo abastecimento de água em cada cidade ND - Número de Dias
$RA = (H * 85) + ((F * PD) * 3,75)$	H: Porcentagem de casas F: Porcentagem de apartamentos RA: Área média do telhado
$TRA = RA * ND$	TRA: Área total do telhado
$VR = \frac{R * TRA * Rc}{1000}$	R: Dados mensais de precipitação Rc: Coeficiente de Runoff VR: Volume de chuva
$PPWS_m = 100 * \frac{VR}{PWR}$	PWR: Consumo médio mensal de água no sistema PPWS _m : Potencial mensal de economia de água
$PPWS = \frac{PPWS_i * VR_i}{VR_i}$	PPWS: Potencial anual de economia

Tabela 1: Fórmulas para o cálculo do potencial de águas pluvial
Fonte: Adaptado de Ghisi et. al (2006)

As normas técnicas têm a finalidade de estabelecer regras sobre um determinado assunto. Um exemplo é a NBR 10844 (1989), que trata das instalações prediais de águas pluviais. Essa norma estabelece requisitos para o projeto, execução e manutenção dessas instalações, assegurando que as águas da chuva sejam devidamente captadas, conduzidas e escoadas, minimizando riscos de alagamentos e promovendo a proteção ambiental.

A NBR 10843 normaliza os tubos de PVC rígidos utilizados nas instalações prediais de águas pluviais. Com definições das especificações técnicas desses tubos, incluindo dimensões, resistência e durabilidade, garantindo que os materiais utilizados sejam adequados para suportar as condições de uso e contribuições de água.

A NBR 8160 estabelece diretrizes para os Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário - Projeto e Execução. Essa norma conecta a gestão das águas pluviais com a do esgoto sanitário,

definindo práticas que asseguram a eficiência e segurança na condução e tratamento dos efluentes gerados nas edificações. A norma aborda aspectos como dimensionamento, materiais, instalação e manutenção, visando promover uma integração eficaz entre o manejo das águas pluviais e o sistema de esgoto.

Essas normas, ao serem seguidas, contribuem para a melhoria da infraestrutura urbana, promovendo a saúde pública e a sustentabilidade ambiental nas construções. O cumprimento das normas é fundamental para a elaboração de projetos técnicos, que embora contribuam significativamente para o aproveitamento das águas pluviais, também apresentam desafios e limitações. Um aspecto positivo é a padronização e regulamentação, que asseguram segurança e qualidade, promovendo a sustentabilidade e incentivando a inovação por meio da adoção de novas tecnologias.

No entanto, um ponto negativo é a variabilidade entre as jurisdições de cada país, o que pode dificultar a conformidade para projetistas, construtores e autoridades reguladoras. No Brasil, essa questão é agravada pela influência de modelos e padrões internacionais que nem sempre atendem às particularidades climáticas e geográficas do país. Tecnologias e práticas adotadas em países desenvolvidos, por exemplo, muitas vezes se mostram demonstrativas ou inacessíveis em regiões com necessidades e orçamentos diferentes. A importação de tais padrões pode gerar dificuldades, pois muitas dessas tecnologias não são idealizadas para o clima tropical brasileiro, o que exige adaptações e ajustes específicos (Paz, 2021).

1.3.1 Comparação entre Técnicas Convencionais e Alternativas no Manejo de Águas Pluviais

No contexto atual de crescente urbanização e mudanças climáticas, o manejo de águas pluviais tornou-se uma questão central para a sustentabilidade das cidades. Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, que está diretamente relacionada aos ODS. O ODS 6 concentra-se em água potável, saneamento e ecossistemas aquáticos, enquanto o ODS 11 aborda o desenvolvimento sustentável das cidades e assentamentos humanos, abrangendo aspectos como habitação, transporte, infraestrutura e resiliência urbana. Ambos os objetivos são essenciais para promover um futuro mais sustentável para todas as comunidades ao redor do mundo (ONU, 2015).

As técnicas convencionais de manejo de águas pluviais, como sistemas de drenagem subterrânea e tubulações, têm sido amplamente utilizadas. Essas abordagens são projetadas

para remover rapidamente a água da superfície, evitando alagamentos imediatos. No entanto, não consideram os impactos ambientais a longo prazo, como a poluição dos corpos d'água e a erosão do solo. Além disso, esses sistemas podem não ser suficientes para lidar com eventos de chuva intensa, que se tornaram mais frequentes devido às mudanças climáticas (Pinto; Faria, 2015).

Por outro lado, as técnicas alternativas, que incluem soluções como jardins de chuva, telhados verdes e pavimentos permeáveis, oferecem uma abordagem mais holística para o manejo das águas pluviais. Essas práticas não apenas gerenciam a água da chuva de forma eficaz, mas também promovem a infiltração e a evapotranspiração, contribuindo para a recarga dos aquíferos e a melhoria da qualidade da água. Embora possam exigir um investimento inicial maior e um planejamento mais cuidadoso, essas soluções proporcionam benefícios adicionais, como a redução da temperatura urbana e o aumento da biodiversidade (Pinto; Faria, 2015).

O sistema de drenagem pluvial, portanto, se destaca como uma resposta contemporânea à necessidade de mitigar a poluição dos rios, gerenciar inundações e melhorar as condições sanitárias. Essa evolução reflete um avanço técnico nas respostas das demandas da sociedade por ambientes urbanos mais saudáveis e sustentáveis (Feo, 2014).

A gestão das águas pluviais como recurso alternativo no Brasil enfrenta desafios da drenagem urbana, da escassez hídrica e das alterações climáticas, além de facilitar a coleta e o armazenamento da água da chuva para usos não potáveis (Pinto; Faria, 2015).

Existem técnicas convencionais e alternativas que operam como métodos tradicionais que se refere a práticas que foram amplamente aplicadas por várias décadas para controlar o escoamento da água de forma rápida e eficiente, levando em consideração aspectos quantitativos e qualitativos, valores, biodiversidade e o potencial dos recursos hídricos (Quadro 2).

Aspecto da Água Pluvial	Abordagem Convencional	Abordagem Alternativa
Quantidade	As águas pluviais são transportadas para fora das áreas urbanas o mais rápido possível.	As águas pluviais são retidas na origem/fonte, permitindo a sua infiltração e atenuação dos picos de cheia, sendo posteriormente encaminhadas gradualmente para o sistema de drenagem, meio receptor ou outro componente.

Qualidade	As águas pluviais são tratadas com as águas residuais em estações de tratamento centralizadas ou descarregadas no meio receptor sem qualquer tipo de tratamento.	As águas pluviais são tratadas utilizando sistemas naturais descentralizados, como o solo, vegetais e bacias.
Valor Recreativo e Amenidade	Não considera	As infraestruturas de águas pluviais são projetadas para melhorar a circulação urbana e criar espaços que ofereçam oportunidades recreativas.
Biodiversidade	Não considera	Os ecossistemas urbanos são recuperados e protegidos pelo uso das águas na manutenção e melhoria dos habitats naturais.
Potenciais dos Recursos	Não considera	As águas pluviais são recolhidas para abastecimento e retirada para recarga de aquíferos, cursos de água e vegetação.

Quadro 2: Principais diferenças entre a abordagem convencional e alternativa

Fonte: Adaptado de Philip (2011)

Essas práticas exigem um planejamento e manutenção contínua, utilizando diferentes estratégias para regular as taxas de escoamento nas áreas urbanas, assim como o volume, a qualidade da água, o uso recreativo e a diversidade biológica. O objetivo dessas abordagens é prevenir impactos ambientais e promover a sustentabilidade na gestão hídrica (Lourenço, 2014).

No processo de urbanização, observa-se a necessidade de implantar sistemas de drenagem individualizados que atendam às leis e regulamentos vigentes. Esses sistemas propõem reduzir os impactos ambientais e as alterações no ciclo hidrológico das cidades ao gerenciar adequadamente as águas pluviais.

Outro aspecto a ser considerado são as mudanças no ciclo hidrológico resultantes da urbanização. A maior impermeabilização do solo, decorrente do pavimento das ruas e da construção de edifícios, impede a infiltração da água da chuva, resultando em um aumento do escoamento superficial (Figura 4). Essa situação pode levar a problemas como alagamentos e poluição dos corpos d'água, destacando a importância de uma gestão eficaz das águas pluviais nas áreas urbanas.

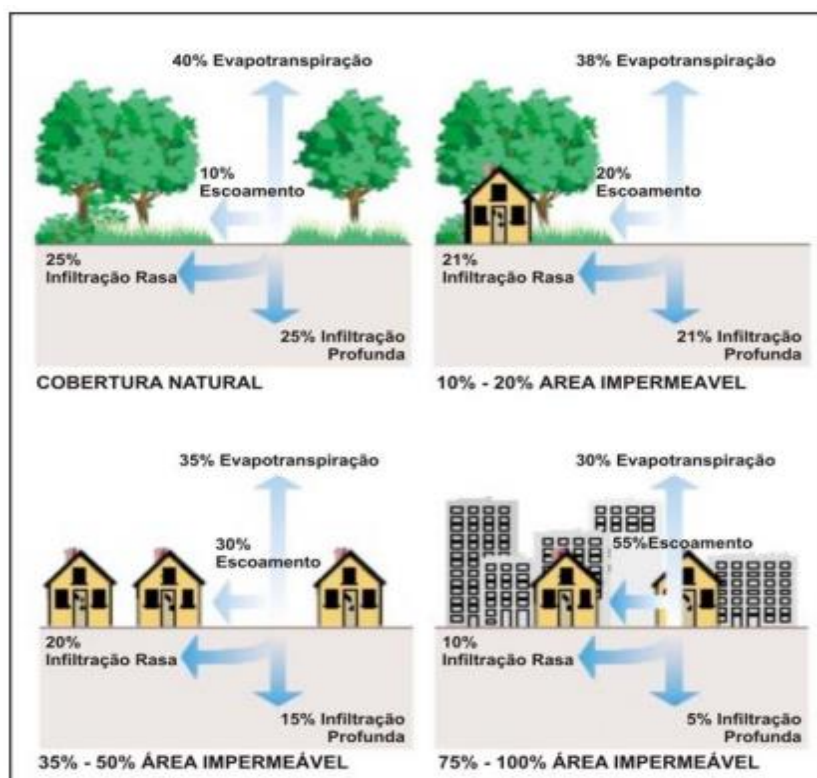


Figura 3: Alterações no ciclo hidrológico em decorrência da urbanização
 Fonte: Adaptado de Prince et al., 1999

Consequentemente, as taxas de infiltração diminuem, o que afeta a recarga de aquíferos e o fluxo de água nos cursos d'água. Por isso, o reaproveitamento das águas pluviais em edifícios verticais é um tema muito discutido por autores, na busca da funcionalidade dos sistemas de abastecimento de água potável e reduzir a pressão sobre as infraestruturas de drenagem.

Dessa forma, promover a conscientização pública sobre a importância da drenagem é fundamental para garantir a eficácia e a sustentabilidade ao longo dos anos. Assim, os resultados da implementação adequada do sistema de drenagem pluvial são evidenciados, conforme destacado por Lourenço (2014):

- Aceleração do escoamento das águas superficiais;
- Eliminação de águas estagnadas;
- Redução do nível freático;
- Controle da erosão hídrica do solo;
- Mitigação de áreas alagadas;
- Melhoria na circulação viária e pedestre;

- Redução dos custos com manutenção em vias públicas e áreas permeáveis e impermeáveis adjacentes.

1.3.2 Estratégias Sustentáveis para o Aproveitamento das Águas Pluviais em Edificações Verticais

Considera-se edifícios altos ou arranha-céu como uma etapa que envolve a verticalização das cidades, que se refere ao aumento da densidade urbana por meio da construção de estruturas verticais em vez de se espalharem horizontalmente. Essa verticalização permite um uso mais eficiente do espaço urbano, especialmente em áreas onde o terreno é limitado e a demanda por habitação e serviços está crescendo (Somekh, 1997).

No que diz respeito à sustentabilidade das edificações verticais, destacam-se os Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS), que têm a função de gerenciar as águas pluviais próximo ao ponto de geração. Esses sistemas utilizam técnicas que promovem a infiltração, retenção e tratamento da água da chuva, como pavimentos permeáveis, poços de infiltração e coberturas verdes (Ballard et al., 2007).

Assim, destaca-se a cadeia dos SUDS, que utiliza bacias de retenção ou áreas úmidas por meio de técnicas de controle na origem da água. Esse processo começa com a descarga para infiltração do solo, seguido pelo controle local e regional, sempre que possível. As etapas são interligadas e podem incluir o uso de sistemas naturais, como valas e trincheiras de infiltração (Figura 5).

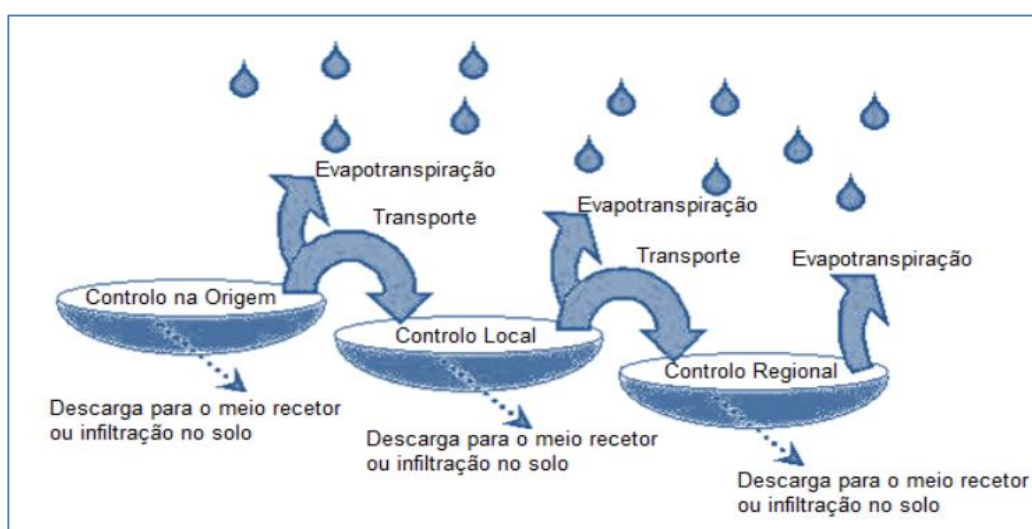


Figura 4: Cadeia de gestão dos SUDS
Fonte: Adaptado de Ballard et al. 2007

Existe uma lacuna na aplicação prática do SUDS em conjunto com a gestão de manutenção predial. Em 2007, a norma brasileira NBR 15.527/2007, aborda o aproveitamento das águas pluviais por meio de coberturas em áreas urbanas para usos não potáveis. Esta norma tem aplicações, como descargas de bacias sanitárias, limpeza de calçadas, ruas e pátios, lavagem de veículos, criação de espelhos d'água, usos industriais, irrigação de áreas permeáveis e cultivo de plantas ornamentais (Almeida,2014).

No Brasil, o regulamento geral para sistemas públicos e prediais de distribuição de água e drenagem de águas residuais é estabelecido pelo Decreto nº 23/95, particularmente no Título IV e Capítulo I, que define regras gerais nos Artigos 114 (Âmbito dos sistemas), 115 (Contribuição dos sistemas) e 116 (Tipos de sistemas) (Brasil, 1995).

Para verificar o funcionamento do sistema de drenagem, que é um conjunto de infraestruturas projetadas para gerenciar o escoamento de águas pluviais, analisa-se o corte esquemático de um edifício vertical alto (Figura 6). Nesse contexto, existem restrições de espaço para a instalação do Sistema de Infiltração (SI), que deve estar situado acima do nível da tubulação de extravasamento quando posicionado abaixo desse nível. Isso resulta em um funcionamento submerso e sob pressão durante o enchimento completo. O fluxo excedente é, então, direcionado para a rede de drenagem urbana por meio de um condutor vertical, cuja seção é plana até atingir o nível de extravasamento (Reis et al., 2019).

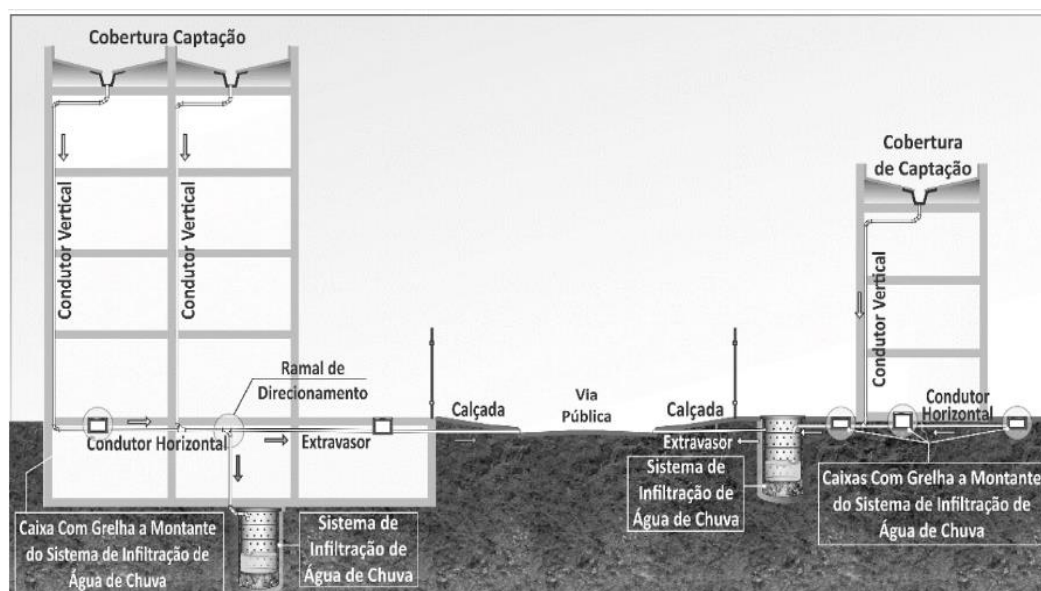


Figura 5: Cortes esquemáticos dos sistemas de infiltração de águas pluviais
Fonte: Reis et al.,2019

Em contrapartida, um SI arquitetônico é considerado quando parte dele fica acima do ponto de extravasamento, integrando-se ao sistema de drenagem urbana. Nessa disposição,

mesmo completamente cheio, o SI não opera submerso e não está sujeito a pressão (Reis et al., 2019).

No planejamento e dimensionamento dos Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAPs), o método mais utilizado é o Método de Demanda de Ponta. Este método calcula a demanda máxima de água no sistema, levando em consideração picos de consumo que podem ocorrer em horários de picos diários ou sazonais. A fim de garantir que o sistema possa atender às necessidades durante períodos críticos e evitar problemas como a falta d'água. Adicionalmente, a relação entre o SI e os SAAPs é relevante no contexto da gestão integrada de recursos hídricos (Almeida, 2014).

1.4 Estimativa do potencial de aproveitamento hídrico

A estimativa do potencial de aproveitamento hídrico envolve a análise das diversas fontes de água disponíveis, como águas pluviais, águas cinzas e águas subterrâneas, dentro de uma área específica. Este processo inclui a avaliação da disponibilidade de água ao longo do tempo, levando em consideração as variações sazonais e climáticas.

O dimensionamento para o cálculo hídrico tem a base da avaliação da descarga líquida média, a qual é determinada pelos fluxos de água na bacia hidrográfica. O método segue uma abordagem racional, conforme demonstrado na Equação 1 (Batista et al., 2015).

$$Q = C * I * A \quad [\text{Eq. 01}]$$

Em que:

Q = Vazão máxima de escoamento na bacia (m^3/s);

C = Coeficiente de escoamento superficial (m);

I = Intensidade da chuva (m/s);

A = Área da bacia (m^2)

A captura da água pluvial proveniente da cobertura das edificações é seguida por diretrizes estabelecidas pela NBR 10.844 (ABNT, 1989) para coeficientes de escoamento dos telhados, considerando as precipitações acumuladas. O volume disponível para cada mês e cenário definido é calculado utilizando a Equação 2 (Chow, 1994).

$$V = C * P * A \quad [\text{Eq. 02}]$$

Em que:

V = Volume disponível (m^3/s);

C = Coeficiente de escoamento superficial (m);

P = Valor numérico da precipitação média anual (mm);

A = Área de coleta em projeção (m^2)

Na apresentação das fórmulas nota-se que é necessário calcular o volume de água no reservatório em um determinado tempo, que depende do método de massa no contexto do balanço hídrico, utiliza-se o método de massas (Equação 3).

$$S_T = V_T + S_{T-1} - D_T \quad [\text{Eq. 03}]$$

Em que:

$$0 \leq S_t \leq V:$$

S_t e S_{t-1} = volume de água no reservatório no tempo t e $t-1$ (m^3);

V_t = volume de chuva aproveitável no tempo t (m^3);

D_t = demanda ou consumo de água no tempo t (m^3).

Nesse panorama, a atmosfera urbana considera os padrões climáticos das cidades, dividindo em duas camadas principais: a camada limite urbana, situada acima das edificações, e a camada limite rural, conhecida como "pluma urbana". A camada limite urbana é afetada pelos elementos urbanos e pelos ventos regionais (Figura 7).

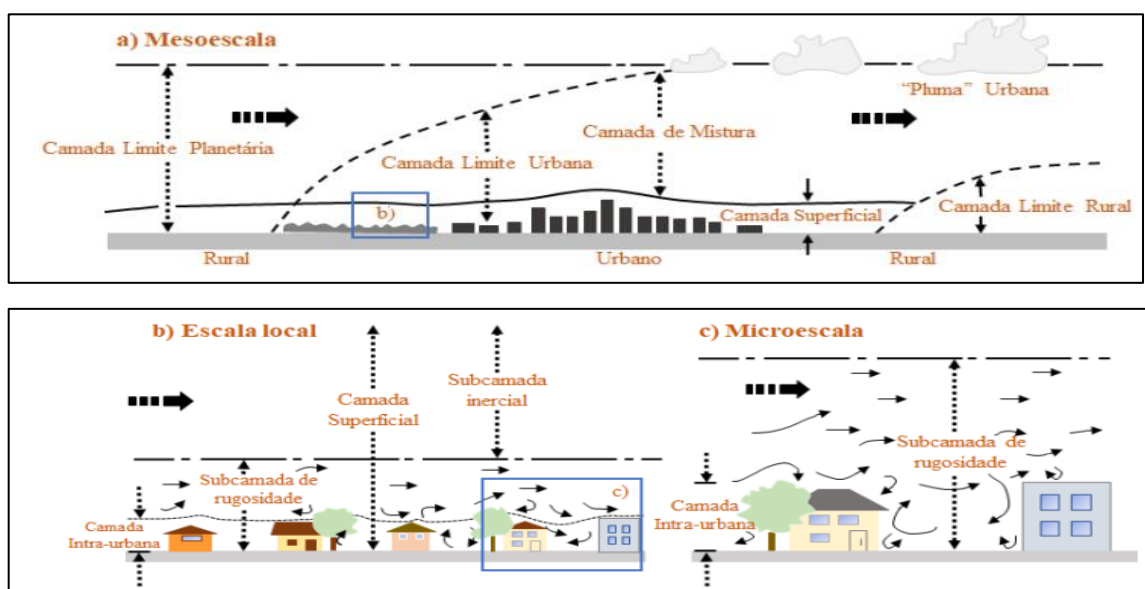


Figura 6: Escalas urbanas e suas camadas
Fonte: Adaptado de Oke (1988)

As camadas restantes são intraurbanas e exercem influência significativa no clima local, sendo impactadas por fatores como densidade populacional, uso do solo e distribuição de edifícios. A microescala é caracterizada por uma interação complexa entre a superfície terrestre e a atmosfera, resultando na formação de microclimas variados dentro da cidade.

1.5 Cálculo da taxa de permeabilidade do solo

Um método comum para calcular a permeabilidade do solo é a equação de Darcy, que relaciona a taxa de fluxo de água considerando o solo e o gradiente hidráulico com a condutividade hidráulica do solo (Bear, 1972).

$$Q = -K * A * \frac{\Delta h}{\Delta x} \quad [\text{Eq. 04}]$$

Logo:

- Q = taxa de fluxo de água (m^3/s);
- k = condutividade hidráulica do solo (m/s);
- A = área da seção transversal do solo (m^2);
- Δh = variação de carga hidráulica (m);
- Δx = distância entre os pontos de medição (m).

A equação 04 fornece uma estimativa da permeabilidade do solo, utilizando as características específicas do solo e as condições hidráulicas locais. Além disso, para calcular a permeabilidade do solo em termos percentuais, ou seja, a proporção da área total do terreno que permanecerá permeável após a aplicação de técnicas específicas, pode-se utilizar a fórmula adaptada pelos princípios de engenharia geotécnica e planejamento urbano (Braja, 2006):

$$\text{Taxa de permeabilidade (\%)} = \frac{\text{Área permeável}}{\text{Área total do terreno}} * 100 \quad [\text{Eq. 05}]$$

As grandes cidades brasileiras crescem de maneira desordenada, com casas próximas a rios e córregos. Devido ao aumento da população e da urbanização, muitos rios foram cobertos ou canalizados para permitir o desenvolvimento urbano. No entanto, o processo de impermeabilização do solo (Figura 8), decorrente da intensa urbanização e da predominância de superfícies impermeáveis como o concreto, tem gerado consequências, incluindo o aumento de inundações nas áreas urbanas durante os períodos de chuva (Sabesp, 2020). As

etapas da permeabilidade do solo sofrem alterações após a construção com a totalidade do seu lote impermeabilizado, devido à ausência de espaços para a percolação da água da chuva.



Figura 7: Etapas da permeabilidade do solo
Fonte: Sabesp, 2020

A permeabilidade do solo é um aspecto importante, e a legislação municipal brasileira exige a reserva de uma parte do terreno, seja público ou privado, para garantir uma taxa mínima de permeabilidade. Essa taxa varia de acordo com as características de cada município. Em áreas urbanas centrais e densamente construídas, a taxa de permeabilidade costuma ser mais baixa. Em contraste, regiões próximas a rios ou reservas ambientais geralmente têm exigências mais rigorosas em relação à permeabilidade do solo (SABESP, 2020).

1.5.1 A relação entre índices pluviométricos e taxa de permeabilidade

O índice pluviométrico mede o volume de chuva em uma localidade durante períodos específicos, como horas, dias, meses e anos. Esses dados quantitativos sobre a ocorrência são essenciais para entender o regime hídrico de uma cidade. Uma análise dessas informações destaca a necessidade de políticas públicas que orientem os projetistas na implementação de soluções eficazes, especialmente em relação à ocupação do solo.

Observa-se que a média mensal do Número de Dias de Chuva (NDC) nos Estados de Alagoas, Sergipe, Paraíba, Pernambuco, Ceará e Rio Grande do Norte varia entre 2 e 16 dias (Gráfico 1). Especificamente, em Alagoas e Sergipe, essa média situa-se entre 3 e 16 dias, enquanto na Paraíba e Pernambuco, varia de 2 a 9 dias. No Ceará e Rio Grande do Norte, os

Coeficientes de Variação (CVs) do número de dias de chuva mostram uma variação significativa, entre 37 e 235. Esses dados evidenciam a diversidade dos padrões pluviométricos na região, sublinhando a necessidade do planejamento urbano e na gestão hídrica (Da Silva et al.,2007).

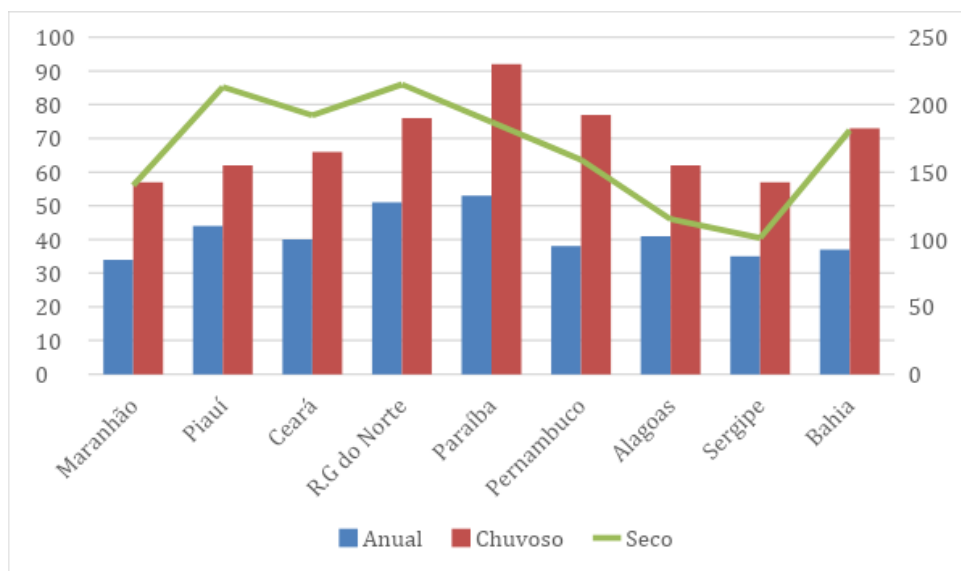


Gráfico 1: Quantidade de dias de chuva em regiões do nordeste
Fonte: Adaptado de Da Silva et al. (2007)

A taxa de solo natural, também conhecida como índice de permeabilidade (I_p), refere-se à porção permeável de um lote ou terreno que permite a absorção de líquidos (Bahia, 2016). Esse índice é fundamental no planejamento urbano, pois promove a preservação de áreas verdes e facilita a infiltração da água pluvial no solo, contribuindo para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

Outro aspecto importante a ser considerado é o tipo de solo, pois solos argilosos e arenosos apresentam diferentes capacidades de captação de água. O ensaio de infiltração/percolação, regulamentado pela NBR 13.969/97, estabelece a taxa máxima de aplicação diária em m^3/m^2 por dia, sendo um parâmetro essencial para o dimensionamento de sumidouros e valas de infiltração.

Além disso, a classificação granulométrica do solo é realizada de acordo com a NBR 7181:2016, que estabelece os procedimentos para a análise das partículas que compõem o solo, classificando-o com base no tamanho dos grãos. Essa análise é fundamental para determinar a proporção de frações como areia, silte e argila, o que influencia diretamente nas propriedades do solo, como sua capacidade de infiltração e retenção de água.

Os pavimentos permeáveis podem assumir diversas formas, como placas drenantes de concreto poroso, blocos vazados aplicados com materiais granulares e até mesmo pavimentos de concreto convencionais. O comportamento desses pavimentos é classificado em infiltração total, parcial ou sem infiltração, conforme o corte esquemático (Figura 9). Todos esses tipos de pavimentos desempenham um papel significativo no condicionamento térmico de áreas urbanas, influenciando a dissipação de calor. Esse comportamento varia principalmente de acordo com o material utilizado, seja concreto ou asfalto (Mota, 2013).

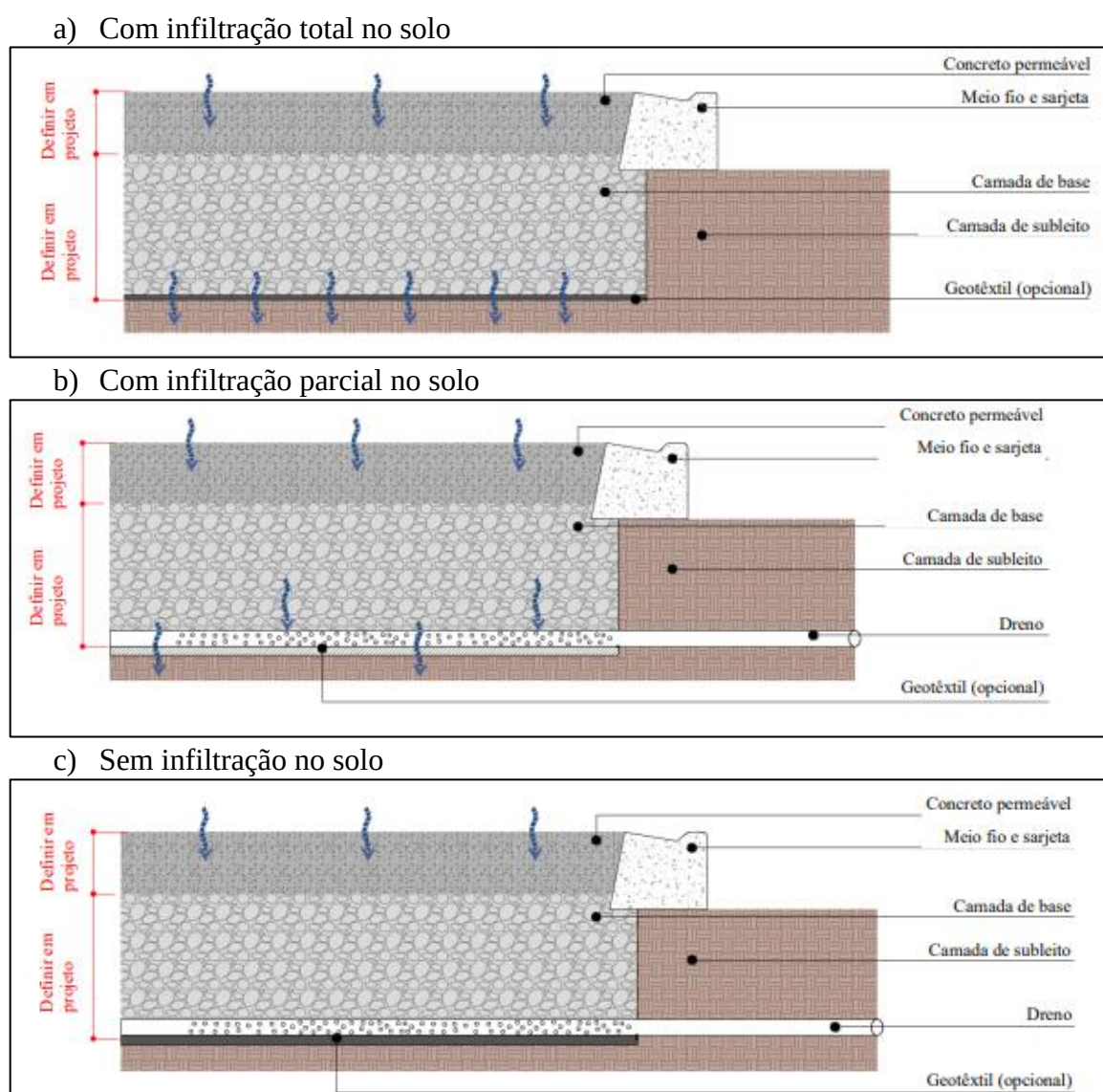


Figura 8: Corte esquemático para pavimento de concreto permeável

Fonte: Mota, 2013

A configuração permite a absorção eficiente da água pelo solo, promovendo a gestão sustentável das águas pluviais. Em contraste, a opção de infiltração parcial no solo incorpora elementos como dreno, além das camadas mencionadas anteriormente. Essa técnica visa

direcionar parte da água para um sistema de drenagem, proporcionando um controle do fluxo hídrico. Por fim, no cenário sem infiltração no solo, as camadas incluem concreto permeável, meio-fio e sarjeta, camada de base, camada de subleito, dreno e, opcionalmente, geotêxtil. Nessa configuração, o sistema é projetado para redirecionar completamente a água para o sistema de drenagem, impedindo a infiltração no solo.

1.5.2 Curva de retenção da água no solo

A curva de retenção de água no solo, também conhecida como curva característica de água no solo, possui aplicações práticas, técnicas e científicas. Destaca-se a regulamentação da capacidade de campo e da disponibilidade total de água no solo, fatores essenciais para o manejo eficiente da supervisão e para o cálculo do balanço hídrico.

O gráfico foi elaborado utilizando o Excel e as fórmulas matemáticas de Van Genuchten, com os seguintes parâmetros: $n=1,86$, $m=0,48$, $\theta_{\text{etas}}=0,504 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, $\theta_{\text{etar}}=0,24 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, $\alpha=0,01 \text{ hPa}^{-1}$, $\text{SQD}=1,89\text{e-}03$, $R^2=0,99$. A obtenção dessa curva é realizada por meio da câmara de pressão de Richards (Figura 10), que mede a relação entre o teor de água no solo e seu potencial matricial.



Figura 9: Câmara de pressão de Richard (A B C)
Fonte: Embrapa, 2007

Os procedimentos para a determinação da curva de retenção de água no solo são divididos em seis etapas:

1º. Passo - Coleta da amostra

Deve-se coletar os anéis cilíndricos com volume conhecido em profundidade específica, para garantir a preservação máxima da estrutura original do solo (Figuras 11A e 3B).



Figura 10: Procedimento de coleta da amostra indeformada
Fonte: Embrapa,2007

2º. Passo - Preparo da amostra

A amostra deve ser coletada utilizando anéis cilíndricos de volume conhecido e a uma profundidade específica, com o objetivo de preservar a estrutura original do solo. No laboratório, o solo é cuidadosamente ajustado com uma espátula para preencher exatamente o volume do anel. A parte inferior do anel é então coberta com um pano poroso e fixada com uma faixa de borracha (Figura 12).



Figura 11: Amostras preparadas de acordo com o procedimento
Fonte: Embrapa,2007

3º Passo - Saturação das amostras e membranas porosas

As amostras e a membrana porosa são colocadas em uma bandeja com água destilada, até atingir metade da altura do anel cilíndrico, para permitir a saturação completa do meio (amostra e membrana). O processo de saturação leva aproximadamente 24 horas, podendo

variar conforme a classificação da textura do solo. Após a saturação, as amostras são pesadas para determinar o conteúdo de água no ponto de saturação (Embrapa, 2007).

4º Passo - Introdução das amostras na câmara de pressão

Após a saturação e pesagem das amostras, estas devem ser colocadas, com a membrana porosa, no interior da câmara de pressão. É importante conectar o dreno da câmara à membrana (Figura 13). Os pontos de tensão a serem aplicados na câmara devem ser predeterminados, sendo comuns: 6, 10 (capacidade de campo), 30, 100, 300 e 1.500 (ponto de murcha permanente) kPa. A cada tensão aplicada, na ordem crescente, a amostra é retirada da câmara após a cessação da drenagem do excesso de umidade, até alcançar o equilíbrio entre a tensão aplicada e a umidade. As amostras são pesadas e então retornam à câmara de pressão para o ajuste do próximo ponto de tensão. Após a aplicação de todas as tensões, obtêm-se as unidades correspondentes ao potencial matricial por meio da diferença de peso (Embrapa, 2007).



Figura 12: Amostras sobre a membrana conectada ao dreno da câmara de pressão
Fonte: Embrapa, 2007

5º. Passo - Determinação da densidade aparente e do peso seco da amostra

Ao final da aplicação de todas as tensões predefinidas, as amostras são levadas para estufa a 105 °C por cerca de 48 horas para a determinação da densidade aparente e peso seco da amostra de solo. Deve-se ter o cuidado, ao final do último ponto de tensão, de pesar o pano poroso, o anel e a liga de borracha, para que possam ser descontados do peso da amostra (Embrapa, 2007).

6º. Passo - Cálculos para a determinação do conteúdo de água no solo

O conteúdo de água no solo pode ser calculado tanto com base em massa (g/g) quanto em volume (cm^3/cm^3). Para esta última, necessita-se do valor da densidade aparente da amostra (Embrapa, 2007).

7º. Passo - Obtenção da curva de retenção de água no solo

Após a determinação do conteúdo de água no solo, em todos os pontos de tensões aplicadas (potenciais métricos), tem-se a curva de retenção de água no solo para a profundidade em que a amostra de solo foi coletada. Essa curva pode ser ajustada usando-se modelos matemáticos como o modelo de Van Genuchten, que permite a determinação dos valores de conteúdo de água no solo para qualquer potencial métrico, inclusive os que não foram utilizados no procedimento de obtenção da curva (Embrapa, 2007).

As curvas de retenção de água em três tipos de solo com granulometrias distintas (Gráfico 2) Observe que, à medida que a sucção aumenta ou a pressão da água diminui, há uma redução no teor de umidade volumétrica. As três curvas evidenciam cada tipo de solo em reter água nos poros, com o argiloso exibindo a maior capacidade de retenção e arenoso a menor (Menezes, 2013).

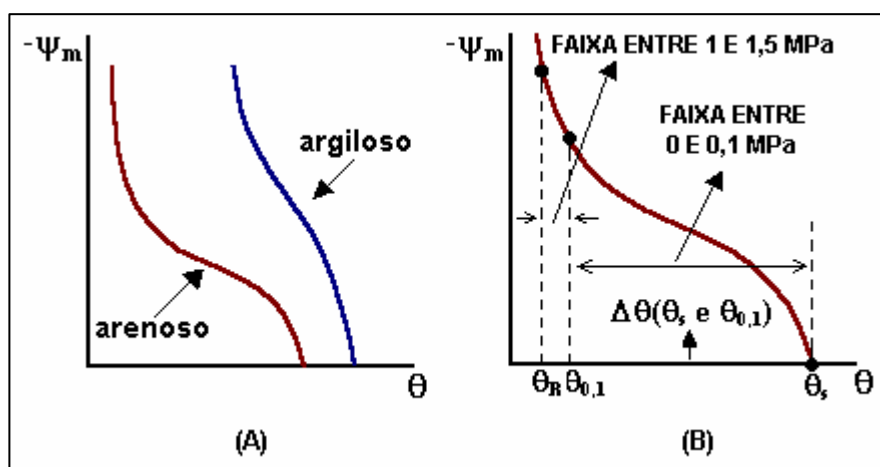


Gráfico 2: Comparação da curva de retenção para diferentes tipos de solo
Fonte: Pires e Osny, 2002

Os parâmetros do modelo matemático expressam a relação funcional entre o teor de água e a tensão do solo conduzida por meio da aplicação da proposta apresentada por Van Genuchten (1980). A formulação matemática é descrita da seguinte maneira:

$$Se = [1 + (\alpha * h)^n]^m \quad [\text{Eq. 06}]$$

$$\theta = \left\{ \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha * h)^n]^m} \right\} + \theta_r \quad [\text{Eq. 07}]$$

Na qual:

θ = o teor de água do solo;

θ_r = teor de água residual medido ou ajustado por regressão;

θ_s = o teor de água de saturação do solo, todos com unidade em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

S_e = a saturação efetiva dada pelo quociente $(\theta - \theta_r)/(\theta_s - \theta_r)$;

α = um parâmetro de ajuste, em cm^{-1} ;

h = a tensão de água no solo em cm;

m e n = são parâmetros de ajuste do modelo.

As configurações empíricas m e n podem ser estimadas por meio de regressão não linear, utilizando o método dos quadrados mínimos e ferramentas computacionais (Van Genuchten, 1980).

1.6 Características do solo no Nordeste do Brasil

A região Nordeste do Brasil apresenta diversidade de solos, influenciada por fatores como clima, vegetação e tipo de rocha. Entre os principais tipos de solo da região, destaca-se o Latossolos, que representa 29,5% da área. Esses solos são muito profundos, bem drenados e têm baixa fertilidade natural. Comumente encontrados em regiões tropicais e subtropicais, possuem uma textura predominantemente argilosa (Gráfico 3) (EMBRAPA, 2014).

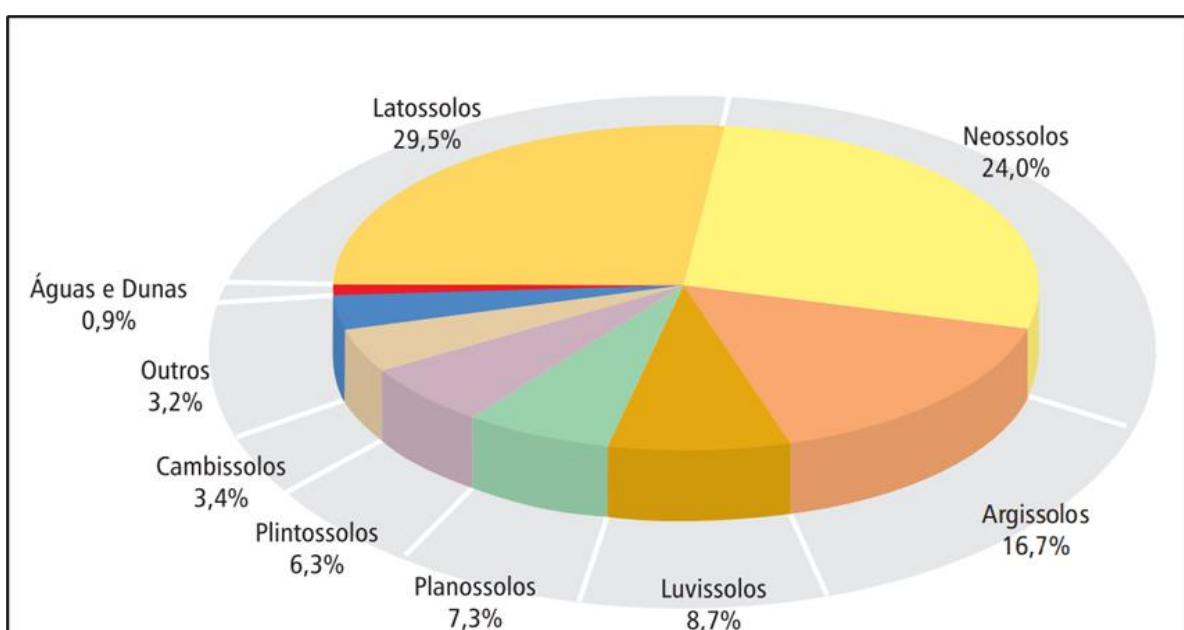


Gráfico 3: Porcentagem dos principais solos da região Nordeste do Brasil
Fonte: Embrapa, 2014

Outro tipo importante é o Neossolos, que representa 24% da área. Esses solos são pouco desenvolvidos e apresentam características variáveis, podendo ser rasos ou arenosos. Costumam ser encontrados em áreas de relevo acidentadas. Por fim, temos o Argissolos, que corresponde a 16,7% da região. Esses solos possuem um horizonte argiloso, apresentam uma diferenciação na textura acentuada entre os horizontes superficiais. Compreender essas classes de solo e sua distribuição é fundamental para a gestão sustentável da região (EMBRAPA, 2014).

1.6.1 As principais características geológicas do solo de Maceió

Nos bairros de Maceió, como Ponta Verde, Pajuçara, Jatiúca, Cruz das Almas e Garça Torta, próximos ao litoral, os solos são predominantemente arenosos e apresentam alta permeabilidade, facilitando a drenagem da água. Em contrapartida, o bairro Gruta de Lourdes é caracterizado por solos do tipo Argissolos e Latossolos, que são mais comuns em áreas de maior altitude e nos planaltos (Silva, 2023).

O estudo das áreas com solos Latossolos enfatiza a necessidade de estratégias específicas para garantir a estabilidade e a durabilidade das construções. Em regiões onde predominam esses solos, especialmente nas áreas de maior altitude da cidade, é essencial adotar fundações mais profundas e implementadas.

A gestão adequada do solo, que envolve práticas de conservação e adubação, é essencial para superar a baixa fertilidade natural e manter a produtividade agrícola. Integrar essas práticas é fundamental para equilibrar o desenvolvimento urbano com a conservação ambiental. A adoção de estratégias aplicadas para construções verticais, combinada com um manejo eficaz do solo, contribui para um crescimento sustentável, garantindo a estabilidade das edificações e a proteção dos recursos naturais.

A geologia de Maceió, capital de Alagoas, é caracterizada por uma diversidade geológica. A região, situada em uma área costeira rica em recursos naturais, apresenta um substrato geológico complexo que abrange formações sedimentares, falésias, recifes e praias (Cavalcante, 2019).

- **Formação Geológica:** A região de Maceió faz parte da bacia sedimentar costeira de Alagoas, que é formada por sedimentos depositados ao longo do tempo pela ação dos rios e do mar. Esses sedimentos são compostos principalmente por areias, argilas e materiais orgânicos.

- Solo Arenoso - Grande parte do solo em Maceió é caracterizado por sua natureza arenosa, devido à predominância de depósitos de areia na região. Esse tipo de solo tem boa permeabilidade e drenagem, mas também pode apresentar baixa fertilidade natural devido à falta de nutrientes.
- Presença de Argila - Embora predominem os solos arenosos, também é possível encontrar áreas com presença significativa de argila em Maceió. Esses solos argilosos podem ser mais férteis e retêm mais água do que os solos arenosos, mas também podem ser mais suscetíveis à compactação e erosão.
- Influência da Maré - A região costeira é afetada pela influência da maré, composição e estrutura do solo, especialmente em áreas próximas à costa. A ação das marés pode levar à deposição de sedimentos e à salinização do solo em algumas áreas.
- Vegetação Costeira - A vegetação tem áreas costeiras, como manguezais e restingas, também influencia a composição do solo em Maceió. A decomposição da matéria orgânica dessas plantas contribui para a formação de solos mais férteis e ricos em nutrientes em algumas áreas.
- Erosão Costeira - A erosão costeira é um problema significativo em algumas partes de Maceió, especialmente devido à urbanização e à alteração do ambiente natural. Isso pode levar à perda de solo e à degradação do meio ambiente, afetando a qualidade do solo e a estabilidade das encostas.

O estudo do solo nas áreas altas e baixas de Maceió é fundamental para garantir um planejamento urbano sustentável e seguro. Nas regiões elevadas, a avaliação das condições geotécnicas ameniza a infiltração excessiva de água e a erosão, especialmente durante o período chuvoso, quando o risco de desastres naturais aumenta significativamente. Já nas áreas mais baixas, o manejo adequado do solo e a prevenção de alagamentos são essenciais, uma vez que essas regiões são suscetíveis a inundações devido à proximidade de corpos d'água. Além disso, as características do solo nessas áreas são determinantes para o desenvolvimento de infraestruturas.

1.6.2 Diferenças entre os solos argilosos e arenosos nos bairros de estudo em Maceió

O solo argiloso ocorre predominante na parte alta de Maceió, como no bairro Gruta de Lourdes. A drenagem nesta região tende a ser menos eficiente devido à maior compactação do solo, o que pode resultar em problemas de encharcamento, especialmente em áreas nas

quais a vegetação natural foi removida. As características do solo requerem técnicas específicas de construção para garantir a estabilidade das edificações (Lôbo, 2018).

Nos bairros da parte baixa de Maceió, como Pajuçara, Jatiúca, Ponta Verde, Cruz das Almas e Garça Torta, o solo é arenoso, com uma maior presença de sedimentos de origem marinha, devido à proximidade com a costa.

A drenagem nas áreas baixas de Maceió é geralmente mais eficiente devido à textura arenosa do solo, que favorece a infiltração de água. Essa característica permite que a água da chuva penetre rapidamente no solo, aumentando o acúmulo superficial. No entanto, algumas áreas ainda são vulneráveis à erosão e às inundações, especialmente durante chuvas intensas ou marés altas, quando o volume de água pode ultrapassar a capacidade

Em relação à ocupação do solo, essa região é marcada por áreas urbanas densas e infraestrutura externa para o turismo, impulsionada pela proximidade com o litoral. A topografia plana da região facilita o desenvolvimento urbano e industrial, permitindo a construção de grandes empreendimentos.

1.6.3 Lençol freático e seus impactos em águas subterrâneas

A capacidade dos solos para reter elementos orgânicos e inorgânicos está ligada às características de retenção e movimentação de elementos solúveis. Essas características dependem da textura do solo, da porosidade e da presença de superfícies coloidais, que afetam a solubilidade e a troca de íons por meio de processos de adsorção e dessorção. Além disso, as reações redox dos elementos na solução do solo também influenciam essas propriedades, que são afetadas pela quantidade de matéria orgânica e pela drenagem do solo (Da Silva et al., 2007).

As estruturas responsáveis pela recarga dos lençóis freáticos e aquíferos são frequentemente dominadas pelo fluxo gravitacional durante os períodos de chuva. Esse movimento da água no planeta, influenciado pelas propriedades locais e por diversos fenômenos, pode ser explicado pelo ciclo hidrológico, também conhecido como ciclo da água.

A representação do ciclo hidrológico no meio físico envolve a transformação da água entre os estados gasoso, líquido e sólido, e sua disseminação na subsuperfície ou na superfície da Terra como parte da atmosfera. No ciclo hidrológico, a água circula alterando o estado físico, mas mantendo o equilíbrio global, sem ganho ou perda líquida de massa no sistema (Da Silva et al., 2007).

Na cidade de Maceió, a área edificada está diretamente relacionada ao rebaixamento do solo, impactando a qualidade da água subterrânea. Em áreas próximas ao nível do mar, onde o solo é predominantemente arenoso e apresenta alta permeabilidade, a ocupação urbana exerce uma influência significativa (Lôbo, 2018):

- **Área Pública x Área Privada:** Analisa a proporção de espaço urbano destinado a áreas públicas, como ruas, praças e parques, em comparação com áreas privadas, como residências e estabelecimentos comerciais. Esse indicador permite compreender a distribuição entre espaços públicos e privados na cidade e sua adequação às necessidades da população.
- **Área Livre e Área Verde:** Examina a quantidade de espaço urbano não ocupado por edificações ou infraestrutura, dividido entre áreas livres, como terrenos baldios ou espaços abertos, e áreas verdes, destinadas à vegetação e lazer. A avaliação desses espaços é útil para determinar a disponibilidade para atividades ao ar livre e a preservação ambiental.
- **Área Impermeável:** Determina a proporção de superfícies urbanas impermeáveis, como ruas asfaltadas e estacionamentos, em relação à área total da cidade. Esse indicador é relevante para avaliar o impacto da urbanização na drenagem, uma vez que superfícies impermeáveis podem aumentar o escoamento superficial e o risco de enchentes.
- **Área e Tipologia Edificada:** Avalia a quantidade e o tipo de edificações, considerando aspectos como densidade populacional, uso do solo, altura dos edifícios e padrão de ocupação urbana. Essa análise é importante para o planejamento urbano e a gestão do ambiente construído.

Os indicadores (Quadro 3) fornecem informações relevantes para a avaliação e o planejamento do espaço urbano, auxiliando nas decisões voltadas para o desenvolvimento de cidades mais sustentáveis e eficientes.

CATEGORIA	INDICADOR	INFORMAÇÕES
Área pública x área privada	Quantitativo de lotes; Área pública Área privada	Contribuição das áreas privadas e públicas.
Área livre e área verde	Área livre Área verde	Áreas que são amplamente empregadas (conceito LID), sobretudo as áreas verdes, pois são importantes no controle da vazão na fonte.

Área impermeável	Lotes potencialmente impermeáveis Área construída (ou edificada)	Eficiência do parâmetro urbanístico.
Área e tipologia edificada	Área construída (ou edificada) Tipologia da edificação; Pavimento subsolo	Tipologia teoricamente associada ao rebaixamento do lençol freático e, conseqüentemente, aos problemas de intrusão salina e alteração da qualidade da água subterrânea.

Quadro 3: Porcentagem dos principais solos do Nordeste

Fonte: Adaptado de Lôbo, 2018

Além da análise do comportamento do lençol freático, é necessário examinar a bacia hidrográfica. O estudo das bacias hidrográficas dos bairros selecionados para a pesquisa permite entender a dinâmica das águas pluviais na área, avaliar os processos de coleta, armazenamento e escoamento da água, e identificar as interações entre os diferentes componentes do sistema hídrico local.

Destaca-se a importância em ter acesso aos relatórios do SPT, pois esses documentos são essenciais para a avaliação preliminar do subsolo na área onde serão extraídas as amostras indeformadas e realizados os demais procedimentos de campo (Da Silva et al., 2007).

1.7 Divisão das bacias hidrográficas de Alagoas

O estado de Alagoas possui uma rede hidrográfica densa, composta por bacias hidrográficas independentes, divididas entre as Bacias da Vertente Atlântica, que drenam para o Oceano Atlântico, e as Bacias da Vertente do São Francisco, conforme ilustrado (Figura 14).

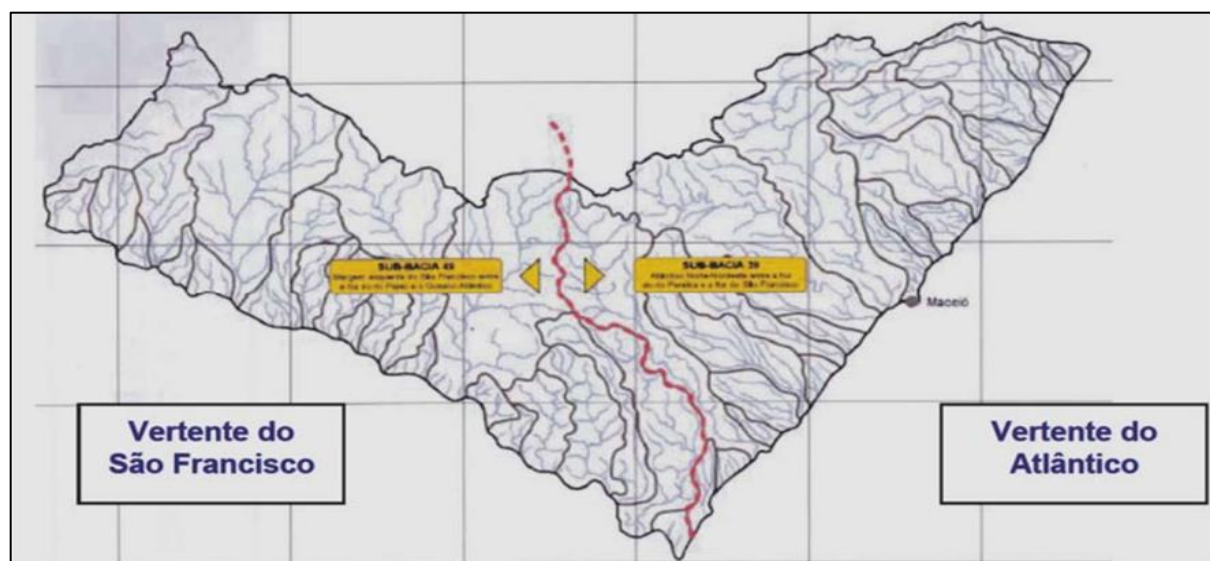


Figura 13: Mapa com a identificação das Bacias de drenagem de Maceió
Fonte: Agência Nacional de Águas, 2011

A Bacia hidrográfica é a área de captação de água superficial que converge para um ponto comum, como um rio ou lago. Já a Bacia de drenagem é um termo mais técnico, usado para descrever qualquer área onde a água escoar para um ponto, seja um pequeno córrego, rio ou até sistemas de drenagem artificiais, como tubulações.

A Bacia do Rio Mundaú cobre a região central e oeste da cidade, enquanto a Bacia de Drenagem Sudeste Oceano Atlântico abrange a parte sudeste. Já a Bacia do Riacho das Águas Férreas está localizada no leste da cidade, sendo delimitada ao norte pela Bacia do Rio Jacarecica, ao sul pela Drenagem Sudeste Oceano Atlântico e a leste pela Bacia do Rio Reginaldo. Essas três bacias desempenham um papel fundamental na gestão das águas pluviais e no sistema de drenagem urbana de Maceió (Da Silva et al., 2007).

1.7.1 A Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú

A bacia hidrográfica do Rio Mundaú nasce em Pernambuco e deságua em Maceió (AL), abrangendo diversos bairros da parte alta da cidade, como a Gruta de Lourdes. Esses bairros estão integrados ao sistema de drenagem e ao ecossistema da bacia, e suas características influenciam diretamente a dinâmica hídrica local. A região apresenta relevo predominantemente ondulado e fortemente ondulado, com algumas serras de altitude moderada. No médio curso do rio, predominam formas de relevo onduladas a suavemente onduladas, enquanto no curso inferior, o relevo é mais suave. Essas variações no relevo estão associadas às unidades litológicas do embasamento cristalino e às formações sedimentares mais recentes, características da bacia sedimentar.

1.7.2 Bacia de Drenagem Sudeste Oceano Atlântico

A Bacia de Drenagem Sudeste Oceano Atlântico cobre a parte sudeste do município de Maceió e está inserida na região hidrográfica do Pratagy, delimitada ao norte pela bacia do Riacho Garça Torta e ao sul pelo Oceano Atlântico. Essa bacia abrange diversos bairros, incluindo Cruz das Almas, Jatiúca e Ponta Verde. O bairro de Garça Torta, em Maceió, faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Pratagy. A gestão das águas pluviais e a drenagem urbana nessa região são influenciadas pelas características específicas de cada um desses bairros, que estão integrados ao sistema de drenagem da bacia.

1.7.3 Bacia Hidrográfica do Riacho das Águas Férreas

A Bacia Hidrográfica do Riacho das Águas Férreas, também conhecida como Bacia do Ferro, possui uma área de 5,428 km² e drena a região de Maceió no sentido oeste-leste. Inserida na região hidrográfica do Pratagy, esta bacia limita-se ao norte com a bacia do Rio Jacarecica, ao sul com a Drenagem Sudeste Oceano Atlântico e a Leste com a bacia do Rio Reginaldo.

A bacia abrange integralmente o município de Maceió e inclui bairros como Cruz das Almas, Pajuçara, Jatiúca e Ponta Verde. Além de desempenhar um papel vital na drenagem das águas pluviais da cidade, a Bacia do Ferro contribui para a gestão dos recursos hídricos, influenciando aspectos como a qualidade da água e a proteção contra inundações. A preservação e a recuperação das áreas de vegetação nativa ao longo da bacia são essenciais para garantir o equilíbrio ecológico e a sustentabilidade ambiental da região.

1.8 Desenvolvimento Urbano e Verticalização: Uma Análise do Contexto em Maceió

Desde o final do século XIX, o planejamento urbano passou a focar na criação de planos para o desenvolvimento das cidades, com ênfase em questões como o zoneamento e o urbanismo sanitaria (Villaça, 1999). O urbanismo sanitaria visava melhorar as condições de saúde pública por meio de infraestrutura urbana adequada, como saneamento e ruas planejadas. Ao longo do tempo, tanto o planejamento urbano quanto o zoneamento evoluíram, diversificando-se em várias etapas e abordagens, com foco em áreas como habitação, infraestrutura e saúde pública, para atender às demandas crescentes das cidades modernas.

1ª fase – Planos de Embelezamento (1875 – 1930): Concentrou-se em aprimorar a estética das cidades e a criação de espaços urbanos mais agradáveis.

2ª fase – Planos de Conjunto (1930 – 1965): Nesta fase, o foco foi o planejamento integrado e a concepção de áreas urbanas com uma visão mais holística, abrangendo diversos aspectos da infraestrutura e do uso do solo.

3ª fase – Planos de Desenvolvimento Integrado (1965 – 1971): A ênfase foi no desenvolvimento das áreas urbanas, visando uma integração mais eficaz dos diferentes componentes urbanos.

4ª fase – Planos sem Mapas (1971 – 1992): Esta fase se caracterizou pela elaboração de planos que não utilizavam mapas tradicionais, refletindo novas abordagens na formulação de estratégias urbanas.

No século XIX, o planejamento urbano emergiu como um processo sócio-histórico, moldado por visões científicas, utilitaristas e românticas, frequentemente em contraste à desordem com o desenvolvimento urbano (Mello-Théry, 2011). Na contemporaneidade, a patrimonialização e o ordenamento urbano das cidades brasileiras, caracterizadas por sua segregação, marcados por conflitos de natureza étnica, econômica, política e cultural. Esses conflitos geram um ambiente de debate sobre política urbana, sendo a questão do patrimônio natural destacada pela necessidade de integração com a conservação (Santos, 2009).

A partir de meados dos anos 1990, diversos países passaram a adotar políticas de desenvolvimento sustentável urbano focadas no tratamento das águas pluviais, tanto urbanas quanto rurais. Para atingir esse objetivo, as estratégias incluem a gestão da ocupação do solo de forma a preservar os caminhos naturais de escoamento e promover a infiltração da água.

Diante da expansão urbana, os dados mais recentes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013)¹, referentes às Áreas Urbanizadas do Brasil em 2015, revelam que as populações urbanas variam entre 100 mil e 300 mil habitantes.

O sistema de águas urbanas abrange aspectos, incluindo o abastecimento de água, o tratamento de esgoto, a drenagem urbana, a prevenção de inundações e a gestão de resíduos sólidos. Com o objetivo de promover a conservação ambiental e proteger a saúde humana (Tucci & Bertoni, 2003). As etapas e características no desenvolvimento de águas urbanas (Quadro 4) ilustra as alterações relacionadas ao desenvolvimento sustentável, destacando a importância de integrar essas funções para garantir uma gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos nas áreas urbanas.

Fase	Características	Consequências
Pré-higienista: até início do século XX	Esgoto em fossas ou na drenagem, sem a coleta ou tratamento e água da fonte mais próxima, poço ou rio	Doenças e epidemias, grande mortalidade e inundações
Higienista: antes de 1970 ¹	Transporte de esgoto distante das pessoas e canalização do	Redução das doenças, rios contaminados, impactos nas fontes

1

Para a coleta de dados, foram consideradas as concentrações urbanas com população superior a 300 mil habitantes.

	escoamento	e inundações
Corretiva: entre 1970 e 1990	Tratamento de esgoto doméstico e industrial, amortecimento do escoamento	Recuperação dos rios, restando poluição difusa, obras hidráulicas e impacto ambiental
Desenvolvimento sustentável: depois de 1990	Tratamento terciário e do escoamento pluvial, novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural	Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade de vida

Quadro 4: Etapas e características no desenvolvimento de águas urbanas
Fonte: Adaptado de Tucci e Bertoni (2003)

Durante a fase de verticalização das cidades, observa-se uma expansão do solo urbano impulsionada pela legislação urbanística e por agentes privados interessados em sua reprodução e valorização. Esse processo resulta em uma (re)configuração espacial e paisagística das áreas urbanas, afetando a estrutura socioeconômica das cidades.

Entre 1985 e 2015, foram registrados comportamentos e modificações significativas no processo de verticalização e zoneamento urbano, conforme evidenciado na implementação dessas práticas na cidade de Maceió (Quadro 5).

VERTICALIZAÇÃO E ZONEAMENTO	
Código de Urbanismo e Edificação de 1985	Zoneamento tradicional ou funcionalista
Plano Diretor de 2005	Macrozoneamento
	Discurso preocupado mais com questões ambientais do que com as possíveis alterações na estrutura sócio-econômico-espacial da cidade
	Existência de infraestrutura instalada no bairro não garantiu necessariamente a sua eficiência e capacidade de suporte físico
VERTICALIZAÇÃO E PARÂMETROS CONSTRUTIVOS	
Código de Urbanismo e Edificação de 1985	Taxa de Ocupação X Coeficiente de Aproveitamento
	Escalonamento do gabarito
	Restrição do gabarito em decorrência do Cone do Farol da Marinha
Código de Urbanismo e Edificação de 2004	Taxa de Ocupação X Coeficiente de Aproveitamento
	Redução da área mínima do lote
	Aumento da taxa de ocupação e do coeficiente de aproveitamento
Código de Urbanismo e Edificação de 2007	Taxa de Ocupação X Número Máximo de Pavimentos X Afastamentos Mínimos estabelecidos X Taxa de Permeabilidade
	Número Máximo de Pavimentos (NMP) por Taxa de Ocupação (TO)
	Número de vagas de estacionamento por área construída

Quadro 5: Estudo comparativo do Plano Diretor do ano de 1985 - 2015
Fonte: Adaptado de Zacarias e Ribeiro (2016)

O **Plano Diretor** de Maceió, elaborado em 1985 e revisado em 2005, é um instrumento essencial para o planejamento urbano da cidade. Essa revisão atendeu às diretrizes

estabelecidas pelo **Estatuto da Cidade**, conforme a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, que exige que municípios com mais de 20 mil habitantes, além daqueles com interesse turístico. Este documento é fundamental para orientar a ocupação do solo, promover o desenvolvimento sustentável e garantir uma gestão eficiente dos recursos urbanos, contribuindo assim para a melhoria da qualidade de vida da população.

Historicamente e mesmo após a promulgação da Constituição Federal de 1988, em grande parte dos municípios no Brasil, os Planos Diretores, na prática, eram utilizados como meros documentos “administrativos”, restritos basicamente as suas normas legais, tais como: códigos de edificações, de posturas e de urbanismo.

Esses planos, via de regras, desconsideram completamente a realidade físico-territorial e as práticas sociais históricas das cidades brasileiras propondo modelos ideais de cidades. Como exemplo dessa interpretação, o município de Maceió, capital de Alagoas, insere-se nesse contexto [...] há que se entender, porém que esses novos Planos Diretores são instrumentos capazes de intervir pelo processo de desenvolvimento local e seu uso principal deve ser a tradução do conceito de função social da propriedade (Oliveira, 2006).

A partir de 2005, foram aprovados tanto o Plano Diretor quanto o Plano de Requalificação Urbana do Centro. Esses planos incorporam diretrizes alinhadas à NBR 9050/04 (Lanverly, 2010). No que diz respeito ao Plano de Requalificação de 2005, destaca-se a ênfase na recuperação do espaço público, associada à implementação de normas específicas sobre o uso e a ocupação do solo. Este plano busca articular atividades econômicas, formais e informais, além de atividades institucionais, com o objetivo de compatibilizá-las com a preservação do patrimônio arquitetônico, histórico e cultural.

1.9 Análise Comparativa dos Códigos de Edificações das Cidades de Maceió (AL), Natal (RN) e Recife (PE)

A taxa de permeabilidade, que se refere à quantidade mínima de solo natural que deve ser mantida em um terreno, é um conceito chave no planejamento urbano para mitigar problemas como alagamentos, ilhas de calor e escoamento superficial excessivo (Bezerra, 2015).

Em Maceió (AL), a regulamentação da taxa de impermeabilidade, que varia de 5% a 15%, busca reduzir os impactos negativos da urbanização no meio ambiente, especialmente em relação à drenagem urbana e ao manejo das águas pluviais. A cidade implementa medidas para incentivar a retenção de águas de chuva e exige a criação de sistemas de drenagem eficientes. No entanto, comparada a outras cidades que enfrentam desafios mais graves de alagamentos, como São Paulo ou Rio de Janeiro, as normas de impermeabilidade de Maceió são relativamente menos rígidas. Isso reflete uma menor incidência de eventos críticos de inundação, mas também aponta para a necessidade de adequar as regras conforme as pressões ambientais aumentam com a urbanização contínua.

O Plano Diretor de Maceió estabelece zonas para diferentes usos do solo – residencial, comercial e industrial – e define parâmetros para densidade e intensidade de ocupação, promovendo um desenvolvimento urbano ordenado e sustentável. Esse planejamento considera aspectos ambientais e urbanísticos para equilibrar crescimento urbano, proteção ambiental e qualidade de vida, pontuando a taxa de permeabilidade (Quadro 6).

CIDADE	LEI
MACEIÓ	Código de urbanismo e edificações de Maceió e edificações de Maceió. Capítulo VI - Da taxa de permeabilidade. Ano: 200
	Art. 281. Nas Zonas Urbanas e Corredores Urbanos previstos no Quadro 1 do ANEXO III desta Lei, a taxa de permeabilidade mínima para terrenos ou lotes será de: I – Para os terrenos ou lotes com área igual ou inferior a 1.200,00 m² (uns mil e duzentos metros quadrados), os quais serão isentos dessa taxa; II – 5% (cinco por cento), nos imóveis com área superior a 1.200,00 m² (uns mil e duzentos metros quadrados) até 1.800,00m² (mil e oitocentos metros quadrados); III – 10% (dez por cento), nos imóveis com área superior a 1.800,00 m² (uns mil e oitocentos metros quadrados) até 2.400,00 m² (dois mil e quatrocentos metros quadrados); IV – 15% (quinze por cento), nos imóveis com área superior a 2400,00 m² (dois mil e quatrocentos metros quadrados); V – Para os terrenos e lotes onde houver exigência de reserva de áreas para destino dos efluentes de tanques sépticos, aplicando-se, nesses casos, o disposto no Quadro 1 do Anexo III desta Lei. Art. 282. Se a construtora apresentar projeto técnico que garanta a permeabilidade do terreno, elimina-se a exigência de área de reserva.
NATAL	Plano diretor de Natal - Lei complementar Nº 082 de 21 de junho de 2007. Capítulo III - Das prescrições urbanísticas adicionais. Ano: 2007

VIII - Área permeável - área do lote onde é possível infiltrar no solo as águas pluviais, limitada em, no mínimo, 20% (vinte por cento) do terreno.

Quadro 6: Taxa de permeabilidade mínima de Maceió- AL e Natal-RN
Fonte: Cavalcante, 2019

Em Natal (RN), as regulamentações sobre a taxa de impermeabilidade controlam a área impermeável para evitar alagamentos, especialmente durante chuvas intensas. Segundo o Código de Obras do Município de Natal (2004), o planejamento organiza o uso do solo em diferentes zonas, regulando a densidade e os tipos de ocupação permitidos (Quadro 6). As diretrizes pretendem equilibrar o crescimento urbano com a proteção de áreas naturais e a gestão de recursos hídricos, ajustando-se às características locais e promovendo um desenvolvimento sustentável.

A cidade de Recife (PE) enfrenta alagamentos e enchentes, o que resulta em regulamentações rigorosas sobre a taxa de impermeabilidade. O Código de Edificações da cidade exige a implementação de medidas robustas para a retenção e o manejo das águas pluviais, incluindo sistemas de drenagem eficazes e técnicas sustentáveis de construção.

As políticas rigorosas visam controlar a impermeabilização e minimizar o impacto ambiental das construções, refletindo a necessidade de enfrentar os problemas históricos de inundações. Além disso, o Plano Diretor de Recife estabelece zonas de uso e ocupação do solo com critérios detalhados que regulam a densidade, o tipo de uso e a altura das edificações. A cidade adota um enfoque detalhado na preservação de áreas verdes e no controle do crescimento urbano, ajustando suas políticas para lidar com os impactos das inundações e gerenciar os recursos naturais. Essas diretrizes visam promover um desenvolvimento ordenado e sustentável, alinhado com as necessidades ambientais e urbanísticas específicas de Recife.

No estudo comparativo, observa-se que Recife (Quadro 7) se destaca por possuir as regulamentações mais rigorosas em relação à taxa de permeabilidade, um reflexo dos graves problemas de alagamento que a cidade enfrenta. As exigências detalhadas e a implementação de sistemas avançados de drenagem e técnicas sustentáveis de construção são necessárias para mitigar os impactos das enchentes. Em contraste, Maceió e Natal apresentam exigências menos severas, que são ajustadas às suas respectivas realidades climáticas e desafios de infraestrutura.

CIDADE	LEI
RECIFE	Lei de uso e ocupação do solo da cidade do Recife - Lei Nº 16.176/96. Capítulo IV - Da ocupação do solo. SEÇÃO I - Da definição dos parâmetros urbanísticos. Pág: 13. Ano: 1997
Subseção I Da Taxa de Solo Natural Art. 65. A Taxa de Solo Natural - TSN é o percentual mínimo da área do terreno a ser mantida nas suas condições naturais, tratada com vegetação e variável por Zona. § 1º Parte da área referida no "caput" deste artigo poderá ser tratada com revestimento permeável, de acordo com as condições e percentuais definidos por Zona. § 2º As quadras esportivas e passeios ou acessos, quando revestidos por material impermeável, não serão consideradas áreas de solo natural. Art. 66. Na ZUP 1, a Taxa de Solo Natural será de 25% (vinte e cinco por cento), admitindo-se uma parte tratada com revestimento permeável, desde que sejam preservadas as árvores existentes, na proporção de 10 m² (dez metros quadrados) por árvore, não podendo o somatório dos valores correspondentes às árvores exceder a 5% (cinco por cento) da área total do terreno. Art. 67. Na ZUP 2, a Taxa de Solo Natural será de 50% (cinquenta por cento), admitindo-se uma parte tratada com revestimento permeável que não ultrapasse 10% (dez por cento) da área total do terreno, ressalvado o disposto no parágrafo único deste artigo. Parágrafo Único. Poderá ser concedida uma ampliação da área a ser tratada com revestimento permeável, desde que sejam preservadas as árvores existentes, na proporção de 10m² (dez metros quadrados) por árvore, desde que o somatório dos valores correspondentes às árvores não exceda a 10% (dez por cento) da área total do terreno. Art. 68. A área resultante do índice determinado nos artigos 66 e 67, deverá ser tratada com vegetação sendo que uma parte, equivalente a 50% (cinquenta por cento), deverá ter plantio de árvores de porte. Art. 69. Na ZUM, a taxa de solo natural será de 20% (vinte por cento) da área total do terreno, não sendo permitido dentro deste percentual o revestimento permeável. Art. 70. Na ZUR, a taxa de solo natural será de 70% (setenta por cento) da área total do terreno, não sendo permitido dentro deste percentual o revestimento permeável. Art. 71. Nas ZDEs, a taxa de solo natural será estabelecida de acordo com as condições previstas na Seção II deste capítulo. Art. 72. A Taxa de Solo Natural - TSN para os usos geradores de incômodo à vizinhança será a da Zona em que se localiza, conforme o disposto no Anexo I0	

Quadro 7: Taxa de permeabilidade mínima de Recife - PE
Fonte: Cavalcante, 2019

No que tange ao manejo de águas pluviais, Recife exige soluções avançadas e sistemas de drenagem altamente eficientes. Maceió e Natal, por outro lado, requerem soluções adequadas, mas com um nível de detalhe menor. Este enfoque menos detalhado é suficiente

para atender às demandas específicas de cada cidade, considerando a menor intensidade de seus problemas com alagamentos em comparação com Recife (2012, p.54).

1.10 Considerações do Capítulo 1

O primeiro capítulo da dissertação apresenta o sistema de drenagem e do aproveitamento das águas pluviais, com foco especial na cidade de Maceió e uma visão geral das características e desafios enfrentados no Brasil. A revisão da literatura aborda a evolução histórica dos sistemas de drenagem, discutindo a transição desde métodos iniciais até sistemas modernos.

Em seguida, foram examinadas as características gerais dos sistemas de drenagem no Brasil, abordando a diversidade de práticas que vão desde métodos tradicionais até abordagens sustentáveis. A importância das normas e regulamentações orientam a implementação de sistemas de drenagem e práticas de manejo, promovendo eficiência e sustentabilidade, para a gestão e aproveitamento das águas pluviais.

A comparação entre técnicas convencionais e alternativas para o manejo das águas pluviais foi abordada, apresentando técnicas tradicionais, como bueiros e canalizações, valas de infiltração com métodos alternativos, além dos jardins de chuva e pavimentos permeáveis. O foco é direcionado para estratégias sustentáveis aplicáveis a edificações verticais, incluindo prédios residenciais e comerciais. São exploradas soluções para promover a reutilização e retenção das águas pluviais, com ênfase na implementação de sistemas de captação e armazenamento e na integração dessas estratégias com práticas de construção sustentável para maximizar benefícios ambientais e econômicos.

Considera-se a estimativa do potencial de aproveitamento hídrico para as águas pluviais, desde irrigação até reutilização em edificações. São examinados os métodos para melhorar o aproveitamento hídrico. Considera-se o cálculo da taxa de permeabilidade do solo para medir a permeabilidade e a importância desses dados para a gestão eficaz das águas pluviais. Observa-se a interação entre índices pluviométricos e a taxa de permeabilidade para entender como a quantidade e intensidade das chuvas afetam a capacidade de infiltração do solo e influenciam as estratégias de drenagem e aproveitamento hídrico.

Ademais, são examinadas as características dos solos na região Nordeste do Brasil, incluindo composição, estrutura e comportamento em resposta às chuvas, com o intuito em verificar as propriedades para a gestão da drenagem e do aproveitamento das águas pluviais na região. O estudo detalha as características geológicas do solo em Maceió, incluindo

formações geológicas e propriedades do solo, e a relação entre a geologia e a capacidade de drenagem e infiltração das águas pluviais. Também são exploradas as diferenças entre solos argilosos e arenosos em bairros específicos de Maceió, analisando o impacto dessas variações na eficácia dos sistemas de drenagem.

A gestão das águas subterrâneas no lençol freático, influência sobre a drenagem superficial e o aproveitamento das águas pluviais. A relação entre o nível do lençol freático e os sistemas de drenagem é verificada, uma vez que um lençol freático elevado pode comprometer a infiltração do solo e afetar a eficiência das estruturas de drenagem. Outro ponto é a bacia hidrográfica do Rio Mundaú, cujas características geomorfológicas e hidrológicas têm um papel importante na gestão das águas pluviais da região. O relevo e as condições sedimentares influenciam diretamente o escoamento superficial e a capacidade de absorção de água, impactando as estratégias de controle de enchentes e de captação de águas da chuva.

A geologia e a geomorfologia da bacia do Rio Mundaú são exploradas, destacando como as características geológicas e a topografia influenciam o comportamento das águas pluviais e os desafios associados à drenagem e ao manejo das águas, considerando como o crescimento das edificações e a verticalização afetam o sistema de drenagem e o aproveitamento das águas pluviais.

CAPÍTULO 2: MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, pode-se descrever sua natureza como aplicada, pois busca gerar conhecimentos específicos para as soluções técnicas adotadas. A abordagem é predominantemente quantitativa, uma vez que envolve a coleta e análise de dados numéricos para subsidiar as considerações finais. O escopo do estudo é descritivo, focando na identificação, caracterização e análise de questões relacionadas aos projetos de drenagem. Quanto aos procedimentos, o estudo segue uma metodologia de levantamento de dados primários e secundários, incluindo uma seleção de bairros, caracterização dos solos e avaliação das diretrizes do Código de Maceió.

Abordamos as seguintes etapas: a aplicação do método Proknow-C para a seleção dos artigos, a escolha do banco de artigos brutos, o recorte geográfico, a coleta de dados, a seleção dos bairros, a caracterização dos solos e bacias hidrográficas, a análise da curva de retenção de água no solo, e os critérios para a análise dos projetos de drenagem, de acordo com o Código de Urbanismo e Edificações de Maceió.

2.1 Aplicação do método Proknow-C para a seleção dos artigos

O método ProKnow-C, conforme explicado por Ensslin et al. (2010), é amplamente utilizado em revisões sistemáticas (De Carvalho et al., 2020). Esse método é organizado em quatro etapas (Figura 15).

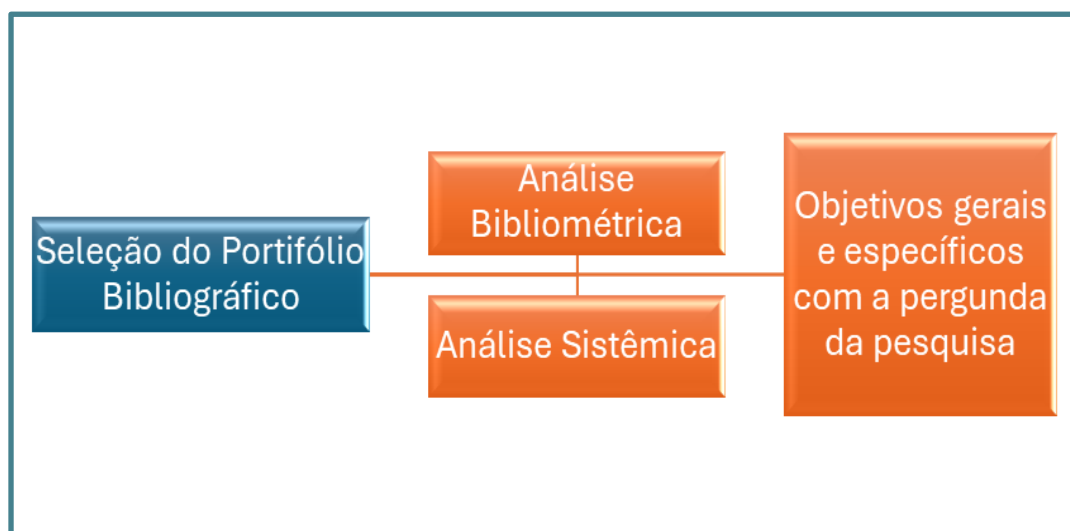


Figura 14: Etapas do processo ProKnow-C
Fonte: Adaptado de Ensslin et al., 2012

Neste estudo, utilizaram-se as três etapas:

Seleção de Portfólio Bibliográfico: Nesta etapa, ocorreu uma busca sistemática de material científico nas bases de dados.

Análise Bibliométrica: Nesta fase, os dados estatísticos dos artigos selecionados são contabilizados, considerando parâmetros como palavras-chave, autores, ano de publicação,

periódicos e citações. Identificam-se dois grupos de indicadores: o primeiro refere-se aos artigos no portfólio e o segundo às referências desses artigos. Considerando as métricas relacionadas a repetições, citações, materiais, origem e periódicos.

Análise Sistêmica: Avalia-se a qualidade e a relevância dos artigos selecionados. Esta etapa inclui a análise dos resumos, a verificação da coerência com o tema e a avaliação da confiabilidade das fontes.

2.1.1 Seleção do banco de artigos brutos

Realizou-se um processo estruturado para a busca e seleção de artigos brutos, com o intuito de garantir a abrangência e a relevância dos materiais revisados (Bortoluzzi et al., 2011; Ensslin et al., 2012). Após a definição da área de conhecimento da pesquisa, é necessário escolher as palavras-chave que serão utilizadas na busca de referências (Figura 16). Dessa forma, com base nesses conceitos-chave, procede-se à busca de literatura relevante.

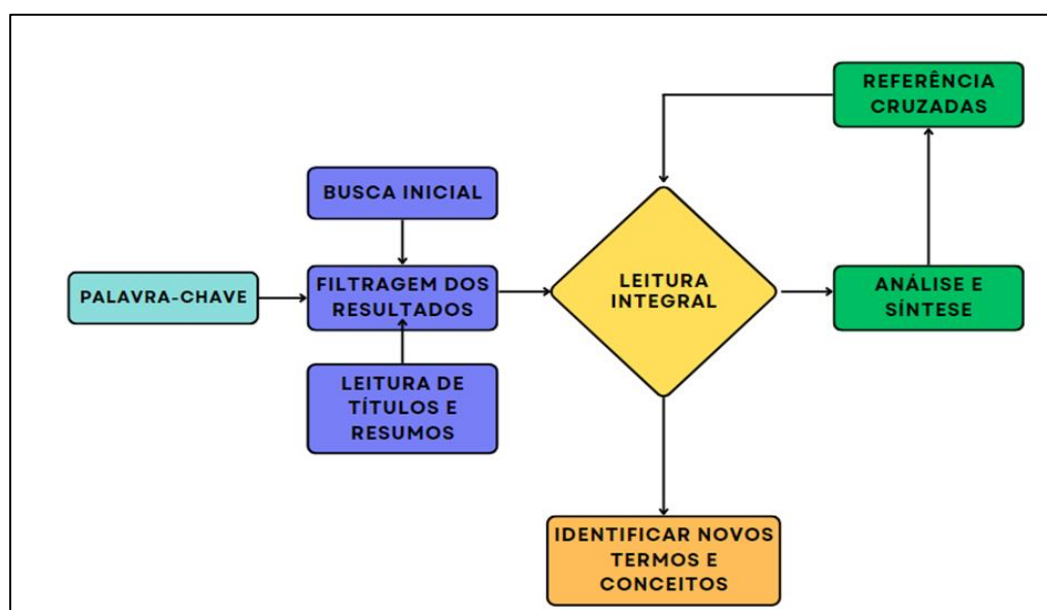


Figura 15: Fluxograma utilizado para elaboração da pesquisa
Fonte: Autora, 2024

Foram realizadas buscas com as palavras-chave "Gestão de Águas Pluviais", "Plano Diretor" e "Impermeabilização de Solos". Na fase inicial da pesquisa, foram utilizados vocabulários em inglês e português, e a busca foi limitada às plataformas ScienceDirect, periódicos indexados pela CAPES e Google Acadêmico. A seleção inicial dos artigos foi restrita às publicações entre 2019 e 2023. Foram encontrados 798 artigos com as palavras-chave "Água da chuva no Brasil", "Reaproveitamento da água da chuva" e "Edifícios verticais

reutilizando água pluvial". A busca com as palavras-chave "Área permeável OU Solo permeável OU Controle de escoamento" resultou em 285 artigos, e a busca com "Plano diretor E Regulamentações das águas pluviais" gerou 304 artigos, totalizando 1.387 artigos encontrados (Gráfico 4).

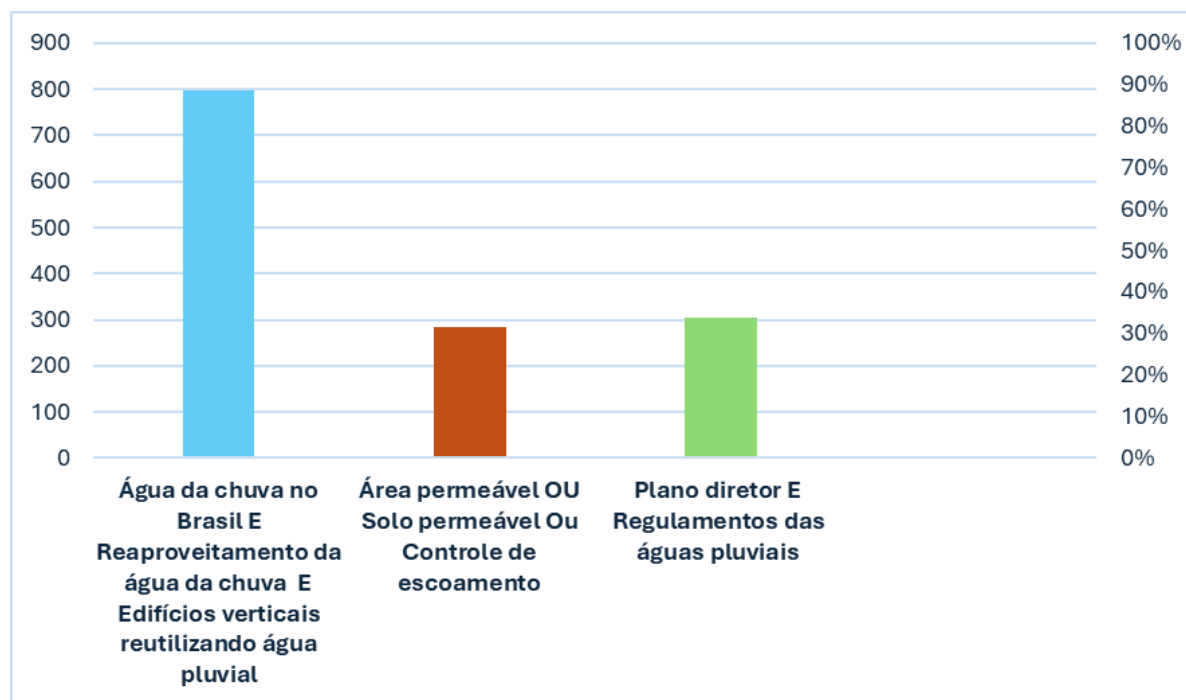


Gráfico 4: Definições das palavras-chaves
Fonte: Autora, 2023

2.1.2 Portfólio bibliográfico

Os resultados da pesquisa resultam da aplicação de critérios previamente definidos, como ano de publicação, idioma e tipo de estudo, o que garante a relevância dos artigos selecionados. Em seguida, analisa-se as referências bibliográficas dos artigos escolhidos (Quadro 8), identificando novas fontes e ampliando o escopo da pesquisa. Após a incorporação dos estudos pertinentes, as informações coletadas são sintetizadas para alcançar os objetivos estabelecidos.

Águas Pluviais Como Fonte Alternativa	Referências
Reaproveitamento das Águas Pluviais e Drenagem Urbana Sustentável	Vasconcelos,2020; Gaitan e Teixeira,2020; Tabuchi,1992; Christofidis,2020; Pacheco e Alves,2023

SUDS	Lourenço,2014; Philip,2011; Valiron; Tabuchi,1992
Plano Diretor e Leis Federais de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais	Maceió,2017, pp.16-17; Brasil,2007; Brasil, 2020b; Brasil,1990

Quadro 8: Principais referências com base nos artigos e títulos
Fonte: Autora,2023

2.2 Recorte geográfico

A pesquisa aborda a capital do Estado de Alagoas, localizada na região Nordeste do Brasil, com uma extensão territorial de 512,80 km² sendo aproximadamente 38% dessa área correspondendo ao perímetro urbano (Maceió, 2005a).

O recorte geográfico de Maceió (Figura 17) situada no litoral nordestino do Brasil, Maceió possui uma topografia majoritariamente plana, marcada pela presença de manguezais e lagoas costeiras que influenciam seu ambiente natural. A parte baixa da cidade, próxima à costa, apresenta solos sedimentares e alagadiços associados a manguezais e áreas de inundação, enquanto a parte alta, composta por elevações suaves, é caracterizada por solos mais arenosos e argilosos que se estendem em direção ao interior (Pinto; Faria 2015).

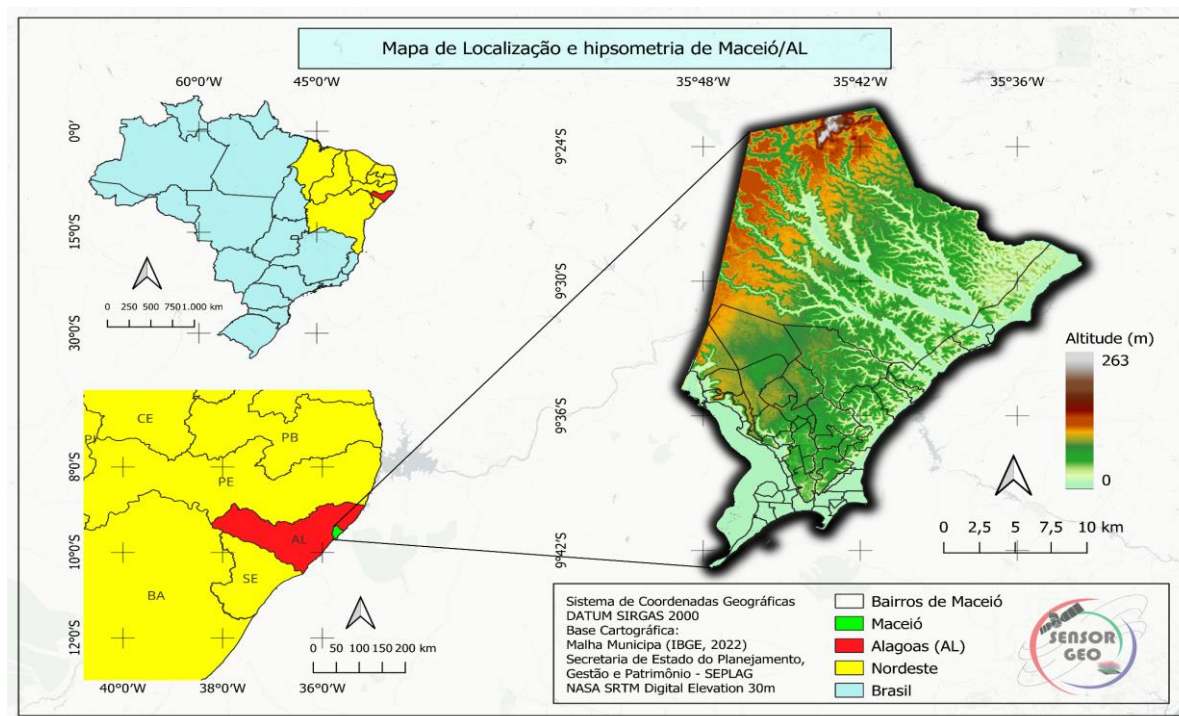


Figura 16: Localização do município de Maceió
Fonte: Autora,2024

A cidade se estende ao longo da costa, com praias que são atrações turísticas e áreas de lazer para os moradores. O crescimento urbano está vinculado à distribuição dos serviços públicos e privados, assim como aos desafios de infraestrutura, mobilidade e saneamento básico. A diversidade entre os bairros reflete diferenças socioeconômicas, impactando as políticas de desenvolvimento urbano e o planejamento territorial.

2.3 Coletas dos dados

O método de contato direto possibilitou a coleta de dados de acordo com as especificidades do objeto de estudo (Neves, 1996). A interação direta entre o pesquisador e o responsável pelo trabalho ajudou, inicialmente, a coleta dos projetos de drenagem e a identificação dos bairros envolvidos. Posteriormente, foram definidas as soluções técnicas que apresentaram taxas de permeabilidade de 15%, 10% e 5%, conforme as diretrizes estabelecidas no Código de Urbanismo e Edificações de Maceió.

Dessa forma, os bairros selecionados foram diferentes para atender às taxas mínimas de permeabilidade determinadas pelo Código de Edificações e Urbanismo de Maceió, acompanhadas de suas respectivas taxas. Dos 10 projetos disponíveis, 7 foram escolhidos para análise (Quadro 9). A seleção considera que a área dos lotes deve ser superior a 1.200m². Além disso, elabora-se uma estratégia para distribuir os projetos entre diferentes bairros, incluindo tanto a parte alta quanto a parte baixa da cidade, a fim de garantir uma visão abrangente.

Tipo de Imóvel	Status da obra	Área do Terreno	Taxa Mínima de Permeabilidade	Bairro
Edifício Multifamiliar A	Concluído	5.443,96 m ²	15%	Garça Torta
Edifício Multifamiliar B	Não iniciada	2.133,79 m ²	10%	Jatiúca
Edifício Multifamiliar C	Concluído	2.086,50 m ²	10%	Ponta Verde
Edifício Multifamiliar D	Em andamento	1.289,91 m ²	5%	Ponta Verde
Edifício Multifamiliar E	Em andamento	1.456,00 m ²	5%	Cruz das Almas
Unidade Hoteleira	Concluído	1.571,03 m ²	5%	Pajuçara

Tipo de Imóvel	Status da obra	Área do Terreno	Taxa Mínima de Permeabilidade	Bairro
Corporativo de saúde	Concluído	1.713,82 m²	5%	Gruta de Lourdes

Quadro 9: Caracterização dos objetos de estudo
Fonte: Autora, 2023

Realizou-se o estudo em conformidade com os princípios éticos estabelecidos, assegurando o respeito pelos direitos e pela privacidade dos envolvidos. Todas as informações foram tratadas com rigorosa confidencialidade.

2.4 Seleção dos bairros

Para escolha dos bairros em Maceió (Figura 18), considerou-se a taxa de permeabilidade do solo que pode variar entre diferentes bairros, principalmente com áreas de maior crescimento de edificação vertical. Optou-se por selecionar bairros na parte baixa da cidade, devido à alta densidade urbana que pode dificultar a absorção de água. Assim como, na parte alta, outro aspecto são os desafios devido às características topográficas que dificultam a drenagem natural e a infiltração de água.

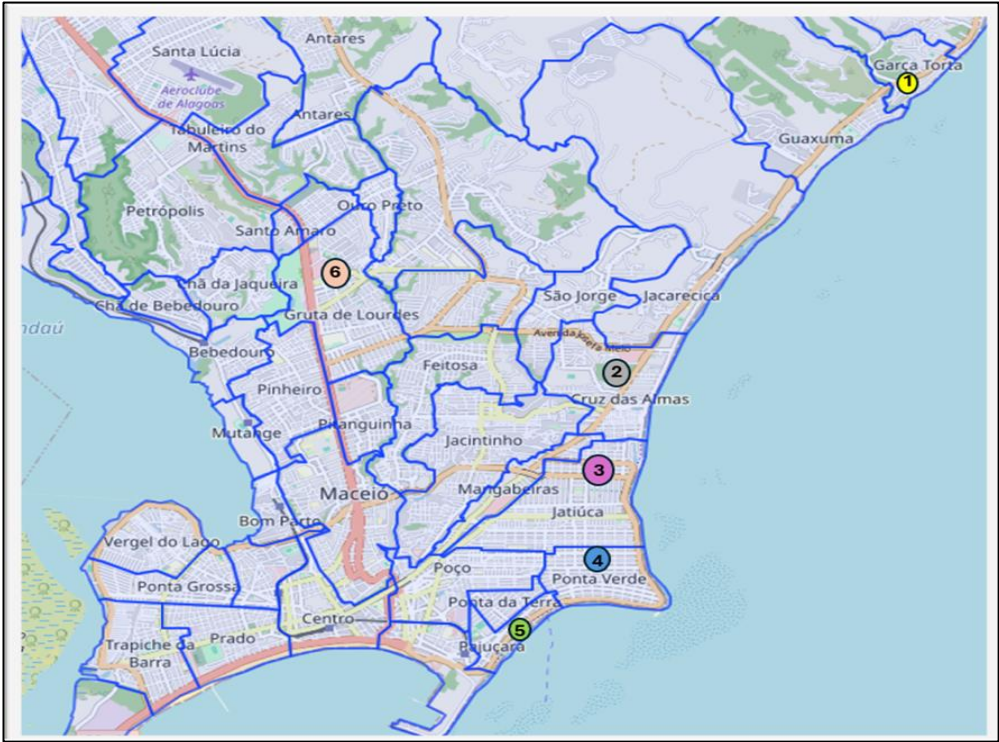


Figura 17: Bairros selecionados do estudo
Fonte: Autora, 2024

Os bairros selecionados estão relacionados à ocupação e impermeabilidade do solo, fatores que podem impactar significativamente aspectos como a drenagem e gestão das águas pluviais na cidade.

2.5 Caracterização dos solos e bacias hidrográficas

Nota-se que os solos argiloso e arenoso em Maceió possuem diferenças em suas propriedades e impactos no ambiente urbano. O solo argiloso, encontrado na parte alta da cidade, como na Gruta de Lourdes, tem uma alta capacidade de retenção de água e baixa permeabilidade, o que pode reduzir a infiltração e aumentar o risco de alagamentos. Por outro lado, o solo arenoso, predominante na parte baixa, como em Jatiúca, Ponta Verde e Pajuçara, tem alta permeabilidade e baixa retenção de água, facilitando a infiltração, mas resultando em menor armazenamento de água para as plantas e maior escoamento superficial.

A análise dos solos argilosos e arenosos em Maceió (Quadro 10) permite a adaptação de práticas de gestão urbana e ambiental de acordo com as características de cada tipo de solo, o que resulta em melhorias na infraestrutura. As bacias hidrográficas desempenham são fundamentais na avaliação dos sistemas de gestão das águas pluviais e no planejamento urbano da cidade, influenciando a drenagem e o gerenciamento das águas na cidade.

CARACTERÍSTICAS DO SOLO	TIPO DO SOLO	BACIA HIDROGRÁFICA
1- Garça Torta	Argiloso	Bacia Hidrográfica do Rio Salgadinho
2- Cruz das Almas	Arenoso	Bacia Hidrográfica Riacho das Águas Férreas
3- Jatiúca	Arenoso	Bacia Drenagem Sudeste Oceano Atlântico
4- Ponta Verde	Arenoso	Bacia Drenagem Sudeste Oceano Atlântico
5- Pajuçara	Arenoso	Bacia Drenagem Sudeste Oceano Atlântico
6- Gruta de Lourdes	Argiloso	Bacia do Rio Mundaú

Quadro 10: Tipos de solo e suas respectivas bacia hidrográficas
Fonte: Autora,2024

2.6 Curva de retenção de água no solo

Com base nos dados fornecidos pelo Laboratório de Recife/PE, utiliza-se o método de tensão de câmara de pressão de Richards, que aplica à amostra de solo para medir a quantidade de água retida. A curva fornece dados sobre a capacidade do solo de armazenar água, o que é fundamental para a gestão hídrica, o planejamento urbano e a mitigação de problemas relacionados a alagamentos e escassez de água.

Após a caracterização, elabora-se a curva de retenção de água no solo para compreender o comportamento dos diferentes tipos de solo na retenção e liberação de água.

Este estudo visa compreender o comportamento da curva, também conhecida como curva característica de água no solo (Embrapa, 2007).

2.7 Critérios para análise dos projetos de drenagem

A engenharia de drenagem e manejo de águas pluviais em áreas urbanas envolvem questões relacionadas às especificidades locais, como clima, relevo, padrões geológicos e pedológicos, uso do solo, urbanização, densidade de urbanização, prejuízos em potencial, capacidade do sistema existente de drenagem, condições de contorno definidas pelo corpo hídrico receptor, entre outros.

Cada projeto deve ser desenvolvido com critérios que garantem sua eficácia e conformidade com as regulamentações locais, incluindo a taxa de permeabilidade e o Código de Edificações e Urbanismo de Maceió (Figura 19). Abaixo os principais critérios a serem considerados:

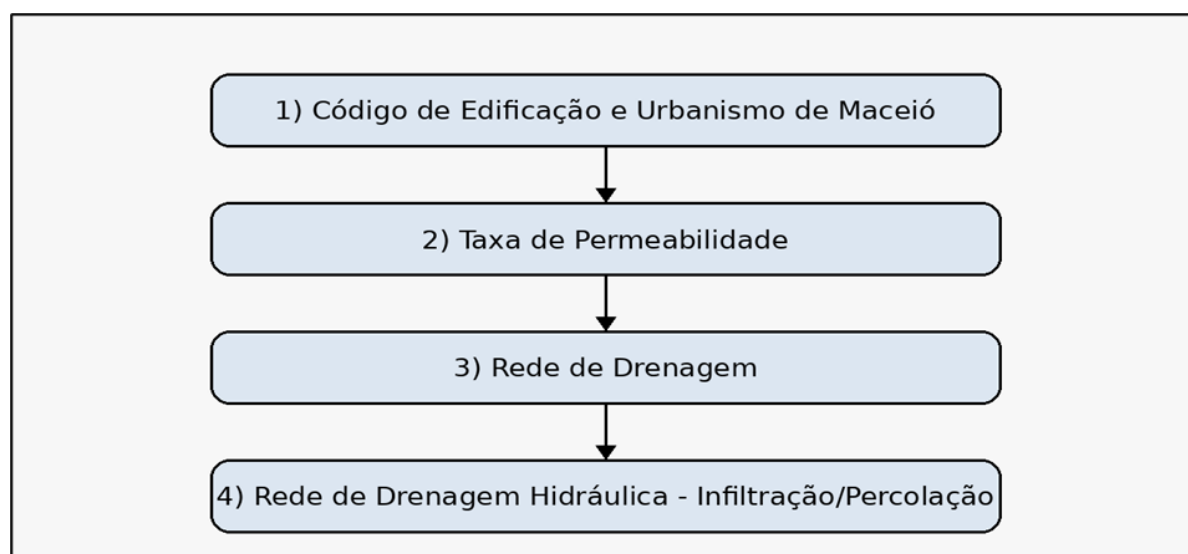


Figura 18: Etapas para avaliação dos projetos de drenagem
Fonte: Autora, 2024

A análise dos projetos de drenagem inicia com a taxa de permeabilidade, que é a medida da capacidade do solo de permitir a passagem da água. Esse parâmetro é essencial para o dimensionamento de sistemas de drenagem e infiltração, como fossas sépticas, poços de infiltração e valas, garantindo que uma infraestrutura suporte o escoamento de água de forma eficaz. Além disso, a classificação do solo por meio de ensaios de permeabilidade ajuda a definir o tipo de sistema mais adequado para cada terreno, influenciando diretamente na escolha das soluções de orientação.

Todos os projetos apresentados devem estar em conformidade com o Código de Edificações e Urbanismo de Maceió, que estabelece normas específicas para garantir a segurança e a sustentabilidade das obras. Além disso, a aprovação dos projetos por órgãos competentes é uma etapa obrigatória, garantindo que as soluções estejam em conformidade com as exigências técnicas e ambientais.

O design de uma rede de transferência considera a capacidade de transferência para lidar com volumes significativos durante chuvas intensas. Isso envolve uma seleção criteriosa de materiais, o dimensionamento de diâmetros de tubulações e a definição de inclinações que garantem o escoamento eficiente. A manutenção da rede é um ponto fundamental, pois sistemas desenvolvidos para facilitar a limpeza e evitar obstruções, riscos de falhas. O projeto deve ainda considerar a integração com o ambiente natural, de forma que a rede minimize impactos como erosão e poluição, promovendo a harmonia entre a infraestrutura urbana e o ecossistema.

A rede de recarga hidráulica promove a infiltração controlada de água no solo e a recarga de aquíferos. Para garantir sua eficácia, é necessário avaliar a taxa de infiltração e a qualidade da água. Um aspecto essencial desta análise é verificar se a rede de recarga interfere no sistema de drenagem superficial, de modo a evitar alagamentos e sobrecargas nos sistemas existentes.

Os mecanismos utilizados em projetos de drenagem abrangem tanto sistemas superficiais, como valetas e sarjetas, quanto soluções subterrâneas, como tubulações e poços de infiltração. Tecnologias sustentáveis, como pavimentos permeáveis, jardins de chuva e bacias de retenção, são cada vez mais valorizadas por promoverem uma gestão eficaz e ecológica da água.

Em seguida, os projetos passaram por uma triagem, considerando critérios como a dimensão do lote, as características do solo, a bacia hidrográfica, o comportamento do lençol freático e a ocupação do solo dos edifícios verticais. A avaliação de impacto dessas soluções deve considerar os efeitos no fluxo hídrico e na qualidade da água, com ênfase nos impactos a longo prazo na bacia hidrográfica.

Por fim, é fundamental a elaboração de um relatório técnico que detalhe as análises realizadas, com ênfase na conformidade com o Código de Edificações e Urbanismo de Maceió e recomendações específicas para o projeto. Este relatório deve servir como um guia detalhado para garantir que as soluções adotadas sejam eficazes, seguras e sustentáveis, atendendo às demandas urbanísticas e ambientais.

CAPÍTULO 3: CÁLCULO DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO PARA MACEIÓ

Neste capítulo elaborou-se a curva de retenção de água com os dados fornecidos pelo laboratório de Recife-PE para entender o comportamento do solo no estudo.

3.1 Cálculo da Curva de Retenção

A curva de retenção de água do solo é uma ferramenta essencial na análise da dinâmica hídrica do solo, especialmente em regiões urbanas como Maceió. Para calcular e interpretar essa curva, é necessário realizar medições experimentais que relacionam o teor de água no solo (θ) à tensão matricial (ψ). Esses dados fornecidos pelo laboratório de Recife permitem construir uma curva que define como o solo armazena e disponibiliza água sob diferentes condições.

3.1.1 Dados experimentais

Coletam-se amostras de solo e determina-se a umidade volumétrica (θ) em diferentes potenciais matriciais (ψ), geralmente medidos em kPa. Esses valores são obtidos em laboratório utilizando tensiômetros, câmaras de pressão ou funis de sucção.

3.1.2 Modelagem da curva

Nesse contexto, com base nos dados fornecidos pelo Laboratório de Recife-PE (Tabela 2), observa-se um comportamento que reflete as características do solo. em Maceió

$ h $ (hPa)	θ (cm ³ cm ⁻³)	θ (cm ³ cm ⁻³)	(obs- pred) ²
10	0,500	0,502	1,81E-06
20	0,490	0,497	4,76E-05
40	0,489	0,483	4,22E-05
60	0,480	0,465	2,46E-04
80	0,450	0,445	2,06E-05
100	0,400	0,428	7,64E-04
300	0,350	0,331	3,61E-04
500	0,299	0,298	3,94E-07

800	0,280	0,277	7,09E-06
1000	0,250	0,269	3,92E-04
3000	0,249	0,247	1,58E-06
5000	0,245	0,242	5,14E-06
10000	0,240	0,238	1,80E-06
15000	0,239	0,237	3,27E-06

Tabela 2: Dados fornecidos pelo laboratório de Recife-PE
Fonte: Adaptado pela autora, 2024

Os ajustes dos dados experimentais são frequentemente realizados com as equações empíricas, como o modelo de van Genuchten:

$$\theta(\psi) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + (\alpha\psi)^n)^m} \quad [Eq. 08]$$

Onde:

θ_r : Umidade residual.

θ_s : Umidade de saturação.

α, n, m : Parâmetros ajustados experimentalmente.

Com os parâmetros ajustados, é possível prever o comportamento da retenção de água para diferentes potenciais matriciais. Segue os resultados e discussões:

- Capacidade de Campo (CC):

É a quantidade de água retida no solo após a drenagem gravitacional cessar. Representa o ponto em que o solo está otimamente. Em solos arenosos de Maceió, a CC tende a ser baixa devido à baixa retenção de água.

- Ponto de Murcha Permanente (PMP):

Corresponde à tensão matricial em que as plantas não conseguem mais extrair água do solo. Para solos de textura mais fina, o PMP pode ser mais elevado.

- Água Disponível (AD)

É a diferença entre a CC e o PMP. Representa o intervalo de umidade em que a água está disponível para as plantas. Em Maceió, solos argilosos podem ter maior AD, enquanto solos arenosos retêm menos água.

○ Prevenção de Alagamentos

Em regiões urbanas de Maceió, o conhecimento da retenção do solo é útil para projetar sistemas de drenagem que reduzam o risco de inundações.

3.2 Representação Gráfica

A curva de retenção de água ($|h|$ vs. θ e θ_p) junto com a diferença ($\theta - \theta_p$) para avaliar a dispersão entre valores observados e preditos (Representam os valores estimados pelo modelo matemático utilizado).

○ Interpretação dos Resultados

Identificação de pontos de saturação, capacidade de campo, e ponto de murcha permanente ($\theta_h=15000$). Com base nos dados fornecidos pelo laboratório de Recife, foi possível elaborar o gráfico após os cálculos realizados anteriormente. Estes gráficos ilustram a relação entre a retenção de água no solo e a tensão matricial, permitindo identificar tanto os valores observados quanto os preditos pelo modelo ajustado.

Além disso, o gráfico de discrepância evidencia a qualidade do ajuste, mostrando as diferenças entre os valores experimentais e os estimados. Essa análise é fundamental para compreender a dinâmica hídrica do solo, avaliando a precisão do modelo utilizado e identificando possíveis ajustes necessários em faixas específicas de tensão matricial.

Este gráfico apresenta a relação entre a tensão matricial ($|h|$, em escala logarítmica) e o conteúdo de água do solo (θ , em cm^3/cm^3). Ele compara os valores observados (θ) com os valores preditos (θ_p) pelo modelo.

Observa-se que em tensões baixas ($|h| \leq 100 \text{hPa}$): O solo está próximo à saturação, com alta retenção de água ($\theta \sim 0,500$). Em tensões intermediárias ($|h| = 100$ a 1000hPa): O conteúdo de água começa a diminuir, indicando drenagem gravitacional e perda de água disponível para plantas. Em tensões altas ($|h| > 3000 \text{hPa}$): A retenção de água atinge níveis baixos ($\theta \sim 0,240$), próximos ao ponto de murcha permanente, onde a água restante no solo está indisponível para as plantas.

O modelo ajustado (θ_p) forma geral acompanha os valores observados, mas há pequenas discrepâncias, especialmente em tensões intermediárias (Gráfico 6).

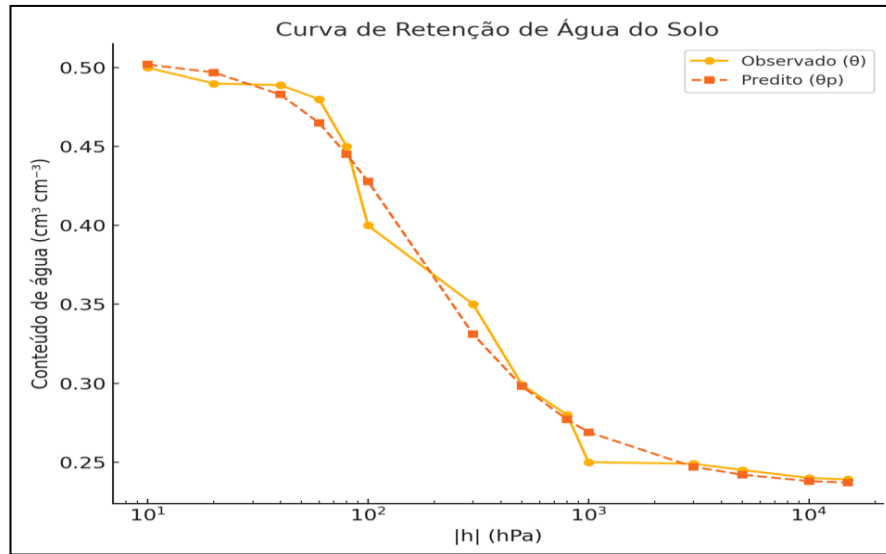


Gráfico 5: Curva de retenção de água no solo
Fonte: Autora, 2024

3.3 Gráfico de Discrepância ($\theta - \theta_p$)

As diferenças apresentadas entre os valores observados (θ) e os valores preditos (θ_p), ao longo da mesma escala de tensão matricial ($|h|$, logarítmica). Os valores próximos de zero indicam que o modelo previu bem o comportamento observado (Gráfico 7). Outro ponto é a discrepâncias positivas ($\theta > \theta_p$) que o modelo subestimou o conteúdo de água. Isso ocorre em algumas tensões intermediárias ($|h| \sim 60$ a 1000 hPa). Já nas discrepâncias negativas ($\theta < \theta_p$) temos o modelo superestimou o conteúdo de água. Esses casos são menos frequentes e ocorrem em baixas tensões ($|h| \leq 40$ hPa).

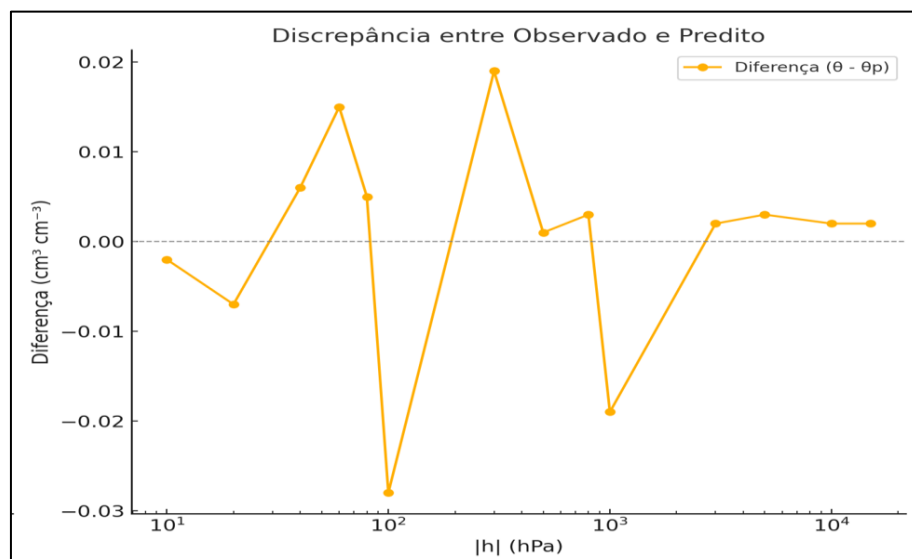


Gráfico 6: Discrepância entre observado e predito
Fonte: Autora, 2024

A maior parte das discrepâncias é pequena, mostrando que o modelo é confiável. No entanto, ele apresenta leve dificuldade em capturar transições em tensões intermediárias, o que pode ser aprimorado com ajustes nos parâmetros.

CAPÍTULO 4: ANÁLISE DOS PROJETOS DE DRENAGEM E SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL DE ACORDO COM OS CRITÉRIOS MUNICIPAIS DE MACEIÓ

Este capítulo apresenta os resultados e discussões da análise dos sete projetos de águas pluviais para infiltração/percolação e drenagem. Os projetos foram analisados com base nas taxas de permeabilidade do solo estabelecidas no Código de Urbanismo e Edificações de Maceió. Abrangendo o comportamento do lençol freático em relação às soluções técnicas adotadas pelos projetistas. Além disso, observou-se a conformidade de cada projeto de acordo com os padrões normativos.

4.1 Edifício multifamiliar A - 15% de taxa de permeabilidade

O edifício multifamiliar A (Figura 20) está situado no bairro Garça Torta, na baixada litorânea, em um terreno com área construída de 5.443,96 m², e encontra-se na fase de finalização de obra.



Figura 19: Edifício A
Fonte: Google maps, 2023

Conforme a normativa municipal, a taxa de permeabilidade aplicada é de 15%, o que corresponde a uma área de 831,77 m² (15,28%) destinada à captação de águas pluviais, localizada em coberturas e jardins.

O terreno natural da edificação apresenta características que favorecem a absorção, com uma taxa média de 80 litros/m² por dia, sendo composto por solo predominantemente arenoso e argiloso, com textura silto-arenosa. O solo, com profundidade variando entre 1,50 e 5,50 metros, apresenta compactação moderada, e o lençol freático no terreno está localizado a 7,8 metros de profundidade, indicado no relatório de sondagem, porém não foi disponibilizado pela prefeitura.

4.1.1 Rede de Drenagem

Quanto à Rede de Drenagem, o projeto prevê a captação das águas pluviais provenientes de coberturas, varandas, pisos e pavimentos pilotis fornecido pela – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente (SEDET) (Quadro 11).

Prumada	Pavimentos					
	Coberta	Cobertura	<u>Pav. Tipo</u>	<u>Pav. Pilotis</u>	Subsolo 01	Subsolo 02
AP-01 = 02	Área de Captação 01 29,22m²	Recebe - Cx. <u>Sinf.</u>	Segue	Segue	Segue	Segue p/ Vala Drenante
AP-03 = 06	Área de Captação 01 57,46m²	Segue	Segue	Segue	Segue	Segue p/ Vala Drenante
AP-04 = 05	Área de Captação 01 108,25m²	Segue	Segue	Segue	Segue	Segue p/ Vala Drenante
AP-07 = 08	Área de Captação 01 94,82m²	Segue	Segue	Segue	Segue	Segue p/ Vala Drenante
AP-09 = 12	Área de Captação 01 6,72m²	Recebe - Cx. <u>Sinf.</u>	Segue	Segue	Segue	Segue p/ Vala Drenante
AP-10 = 11	x	Recebe - Cx. <u>Sinf.</u>	Segue	Segue	Segue	Segue p/ Reservatório
AP-Vr.01 = 02	x	x	Recebe - Cx. <u>Sinf.</u>	Segue	Segue	Segue p/ Reservatório
AP-Vr.03 = 04	x	Recebe - Cx. <u>Sinf.</u>	Segue	Segue	Segue	Segue p/ Reservatório
AP-P.01	x	x	x	Área de Captação 02 ao 05 175,29m²	Segue	Segue p/ Vala Drenante
AP-P.02	x	x	x	Área de Captação 07 48,02m²	Segue	Segue p/ Vala Drenante
AP-01+03	x	x	x	Área de Captação 06 14,83m²	Segue	Segue p/ Vala Drenante
AP	x	x	x	Área de Captação 2.064,50m²	Segue	Segue p/ Reservatório

Quadro 11: Divisão das áreas de captação das águas pluviais
Fonte: Adaptado de SEDET, 2014

A coleta será realizada por meio de caixas sifonadas, que direcionarão as águas pluviais através de tubulações de PVC interconectadas até um reservatório destinado ao armazenamento. Este reservatório (Figura 21) tem como função principal o armazenamento das águas pluviais recorrentes e a instalação de um sistema de tratamento antes de sua reutilização. Sua capacidade é de 194.145 litros (nota: há uma lacuna no memorial de cálculo). O reservatório conta com um dispositivo de controle de fluxo, composto por boias elétricas de nível, e um extravasor para eventuais transbordamentos, que estará interligado à linha d'água (meio-fio).



Figura 20: Válvula de controle e extravasor multi sifão
Fonte: Adaptado de SEDET, 2018

No pavimento pilotis, serão previstas instalações de registros nas descidas dos coletores (registro de limpeza – deve permanecer sempre fechado, sendo aberto apenas quando necessário para a lavagem dos pilotis). Além disso, será realizada a interligação com a rede de águas pluviais do subsolo 01, direcionando as águas para as calhas do subsolo 02, de onde serão encaminhadas para o bombeamento até a estação de tratamento de esgoto.

O memorial descritivo apresentado e aprovado pela Prefeitura apresenta inconsistências, uma vez que menciona que as águas pluviais serão encaminhadas a um sistema de tratamento para reutilização. No entanto, também indica que a rede de águas pluviais dos subsolos 01 e 02 será direcionada para as águas servidas e, em seguida, bombeada

para a estação de tratamento de esgoto. Essas informações geram ambiguidade no projeto, quanto ao encaminhamento e ao tratamento adequados das águas pluviais.

4.1.2 Rede de Recarga Hidráulica – Infiltração/Percolação

A concepção do projeto para o sistema de recarga hidráulica prevê a captação das águas pluviais provenientes das coberturas e jardineiras, com posterior interligação à rede de valas drenantes (Figura 22) localizadas no pavimento subsolo 02.

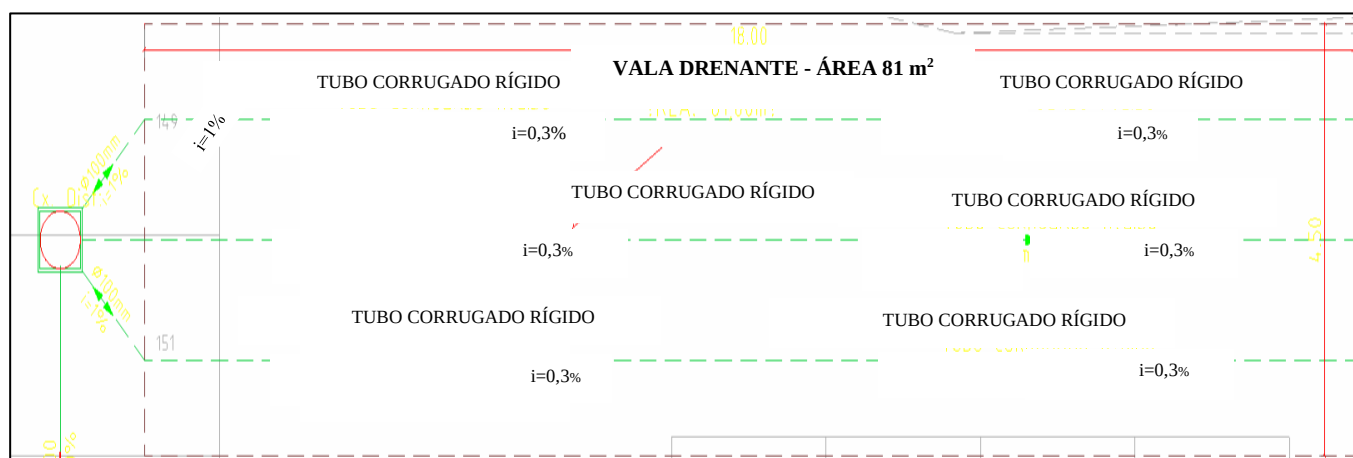


Figura 21: Trecho da vala de drenagem
Fonte: Adaptado de SEDET, 2018

A percolação das águas pluviais captadas será realizada por meio de valas de infiltração, abrangendo uma área total de 1.179,00 m² (21,66%) do terreno natural, destinada à absorção e percolação das águas pluviais. Esta área está localizada no Pavimento Subsolo 02, conforme as diretrizes do Código de Urbanismo e Edificações de Maceió.

A válvula de controle apresentada (Figura 23) tem como função regular o fluxo de água dentro do sistema, permitindo ajustes precisos para manter os níveis desejados e garantir a operação eficiente do sistema como um todo. No pavimento pilotis, serão instalados registros nas descidas dos coletores, que devem permanecer fechados e apenas ser abertos durante a lavagem do pavimento.

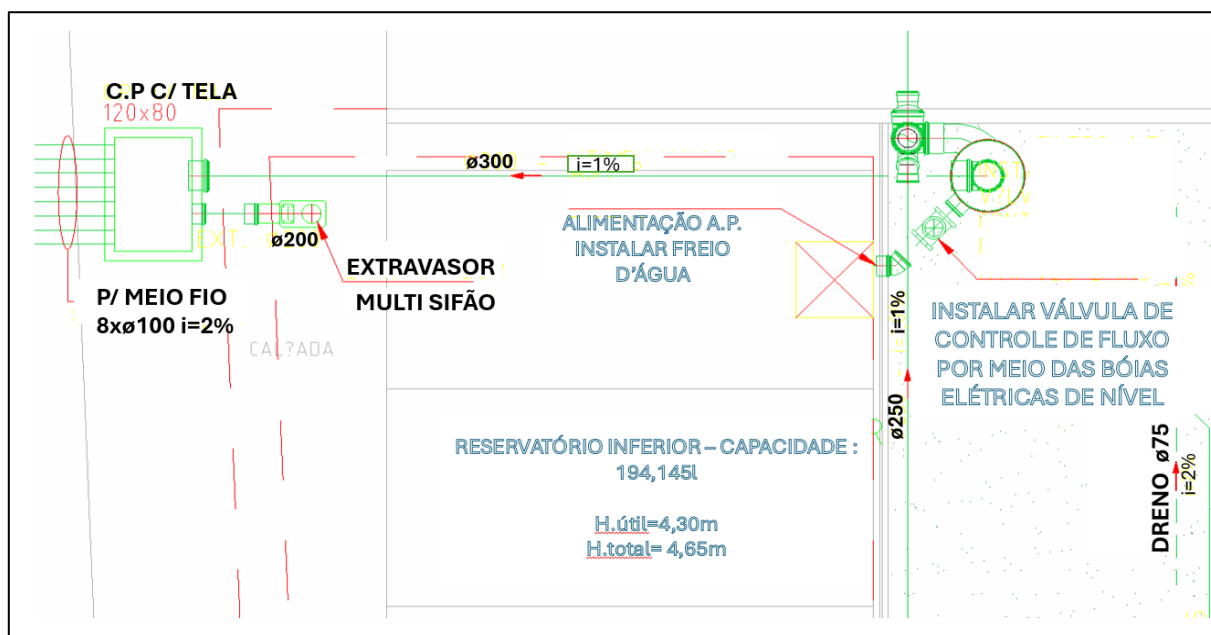


Figura 22: Válvula de controle e extravasor multi sifão
Fonte: Adaptado de SEDET, 2018

Além disso, as águas servidas serão direcionadas para a rede de águas pluviais do subsolo 01 e, em seguida, para as calhas do subsolo 02, de onde serão bombeadas para a estação de tratamento de esgoto. O uso dos extravasores é essencial para prevenir transbordamentos e danos ao sistema de armazenamento ou à infraestrutura circundante.

O mecanismo técnico adotado para gerenciar transbordamentos é o extravasor, que está conectado à linha d'água (meio-fio). Este dispositivo é projetado para liberar o excesso de água do reservatório quando o nível atinge sua capacidade máxima, funcionando como uma válvula de segurança. Direcionando a água excedente para áreas seguras, como drenagens ou sistemas de esgoto, evitando sobrecargas no sistema de armazenamento.

Os extravasores e as válvulas de controle de fluxo funcionam de maneira complementar no sistema hidráulico, conforme especificado no projeto. O extravasor é utilizado para o escoamento controlado em reservatórios ou sistemas de drenagem, permitindo que o excesso de água seja liberado de forma segura quando o nível exceder um limite predefinido. Opera-se como um componente passivo, regulando o escoamento por gravidade, sem depender de dispositivos mecânicos ativos.

Por outro lado, as válvulas de controle de fluxo são projetadas para regular ou modular a quantidade de água que passa por sistemas hidráulicos, como canalizações, tubulações ou entradas e saídas de reservatórios. O modelo especificado no projeto é de controle manual,

permitindo ajustes fáceis e adaptações conforme as condições operacionais, proporcionando maior flexibilidade no gerenciamento do fluxo.

Quando utilizados em conjunto, os extravasores e as válvulas de controle de fluxo permitem um controle eficaz do excesso de vazão. O extravasor pode ser combinado com as válvulas para ajustar a saída de água, garantindo que o sistema opere de forma segura e otimizada. Além disso, as válvulas oferecem proteção contra sobrepressão, limitando a vazão mesmo quando o extravasor está em operação, protegendo os componentes a jusante.

Em situações que exigem um controle preciso do fluxo após o funcionamento do extravasor, as válvulas podem ser instaladas para regular o escoamento conforme as necessidades operacionais. O uso combinado desses dispositivos é recomendado em sistemas de reservatórios sujeitos a variações de vazão, como processos industriais ou sistemas urbanos, onde o controle da água é importante para evitar danos à infraestrutura.

Embora os extravasores e as válvulas possam operar de forma independente, sua integração oferece maior controle, eficiência e segurança, especialmente em cenários complexos e de alta demanda.

4.2 Edifício multifamiliar B - 10% de taxa de permeabilidade

O edifício multifamiliar B, localizado no bairro Jatiúca (Figura 24), não previu uma área permeável, em um terreno com área construída de 2.133,79 m².

De acordo com as exigências do Código de Edificações, a taxa de permeabilidade é de 10%, o que corresponde a uma área de 216 m² (10,12%). Para atender a essa exigência, foi necessário implementar um sistema de captação e percolação das águas pluviais, por meio de uma área de absorção localizada no pavimento subsolo. O terreno natural da edificação possui características que resultam em uma taxa média de absorção de 70 litros/m² por dia, sendo composto por solo com predominância de argila e silte argiloso.



Figura 23: Localização do edifício B no bairro Jatiúca
Fonte: Google maps, 2023

De acordo com o projeto o solo é composto principalmente por areia e silte arenosa, com uma camada de argila silto-arenosa entre 1,00 e 6,80 metros de profundidade. A compactação é moderada, e o nível médio do lençol freático no terreno está localizado a 2,34 metros de profundidade.

4.2.1 Rede de Drenagem

A concepção do projeto para o sistema de recarga hidráulica consiste exclusivamente na captação das águas pluviais da cobertura e sua interligação com a rede de valas drenantes situada no pavimento subsolo (Quadro 12). Não são permitidas interligações com outras instalações prediais.

Prumada	Pavimentos						
	Coberta	<u>Pav.Cobertura</u>	<u>12º Pav.</u>	<u>Pav. Tipo</u>	<u>Pav. Pilotis</u>	<u>Pav. Garagem</u>	<u>Pav. Subsolo</u>
AP-01	Área de Captação 215,42m²	Segue	Segue	Segue	Segue	Segue	Segue p/ Vala Drenante
AP-02	Área de Captação 215,42m²	Segue	Segue	Segue	Segue	Segue p/ Galeria	x
AP-03	Área de Captação 96,80m²	Segue	Segue	Segue	Segue	Segue p/ Galeria	x
AP-04	Área de Captação 96,80m²	Segue	Segue	Segue	Segue	Segue p/ Galeria	x
AP-Vr.01	Área de Captação 25,34m²	Área de Captação 33,36m²	Recebe <u>Cx. Sinf.</u>	Recebe <u>Cx. Sinf.</u>	Segue	Segue p/ Galeria	x
AP-Vr.02	Área de Captação 25,34m²	Área de Captação 33,36m²	Recebe <u>Cx. Sinf.</u>	Recebe <u>Cx. Sinf.</u>	Segue	Segue p/ Galeria	x
AP-P1	x	x	x	x	Recebe <u>Cx. Sinf.</u>	Segue p/ Galeria	x
AP-P2	x	x	x	x	Recebe <u>Cx. Sinf.</u>	Segue p/ Galeria	x
AP-P3	x	x	x	x	Recebe <u>Cx. Sinf.</u>	Segue p/ Galeria	x
AP-P4	x	x	x	x	Recebe <u>Cx. Sinf.</u>	Segue p/ Galeria	x
AP-P5	x	x	x	x	Recebe <u>Cx. Sinf.</u>	Segue p/ Galeria	x

Quadro 12: Identificação das caixas sifonadas do edifício B
 Fonte: Adaptado de SEDET, 2019

A coleta das águas pluviais será realizada por meio de caixas sifonadas, com as águas sendo conduzidas através de tubulações de PVC. Essas tubulações serão interligadas a caixas de passagem, estrategicamente distribuídas pelo terreno, para direcionar as águas pluviais ao meio-fio e à galeria pública de escoamento, garantindo uma integração eficiente com o sistema de drenagem existente.

O sistema de captação de águas pluviais é destinado exclusivamente ao recolhimento e à condução das águas pluviais, sendo vedadas interligações com outras instalações prediais. No pavimento da garagem, serão instalados registros nas extremidades dos coletores, com a função de permitir a limpeza (devendo permanecer fechados e serem abertos apenas durante a lavagem).

A interligação desses registros às calhas do subsolo, direcionando as águas servidas para o bombeamento subsequente em direção à rede pública de esgoto (Figura 23), diverge das disposições estabelecidas pelo Código de Urbanismo e pelas normas relacionadas à gestão de águas pluviais e águas servidas. Essas normas preveem a segregação entre os sistemas de águas pluviais e águas servidas, garantindo o tratamento adequado e evitando a contaminação dos recursos hídricos e sobrecarga nas redes de drenagem.

Em Maceió, as diretrizes estão embasadas no Código de Urbanismo e Edificações, que estabelece requisitos para o manejo de águas pluviais e efluentes. Além disso, as normas técnicas da ABNT, especialmente a NBR 10844 - Sistemas de drenagem urbana - Drenagem pluvial, tratam da segregação dos sistemas de drenagem de águas pluviais e efluentes domésticos.

Outra norma NBR 12521, que orienta sobre sistemas prediais de águas pluviais e de esgoto, determinando que as águas servidas devem ser tratadas e direcionadas adequadamente para redes de esgoto, enquanto as águas pluviais devem seguir sistemas separados.

Portanto, a proposta de direcionar as águas servidas diretamente para as calhas do subsolo, junto com as águas pluviais, e posteriormente encaminhá-las à rede pública de esgoto, não está em conformidade com as diretrizes normativas que buscam garantir a segregação e o tratamento adequado dos diferentes tipos de águas geradas no edifício.

Esses registros serão conectados às calhas do subsolo (Figura 25), direcionando as águas servidas para o bombeamento subsequente em direção à rede pública de esgoto. Este procedimento será aplicado de forma semelhante em toda a rede de coleta de águas servidas no pavimento subsolo.

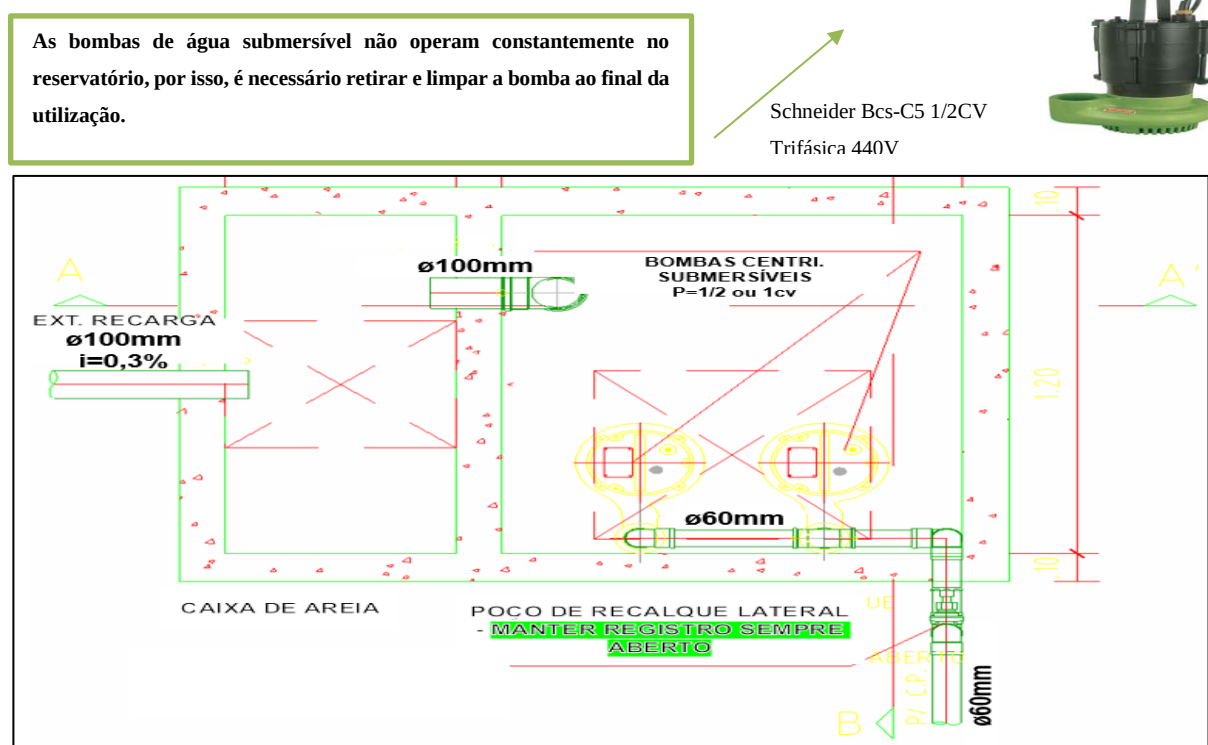


Figura 24: Segmento do projeto com os registros de coleta
Fonte: Adaptado de SEDET, 2019.

As bombas são projetadas para operar totalmente submersas, tornando-as ideais para aplicação em poços e reservatórios. O funcionamento tem princípio da força centrífuga: o impelidor giratório transfere energia ao fluido, gerando uma pressão que desloca a água para cima e para fora da bomba. Entre suas principais características, destacam-se a alta eficiência, durabilidade e a facilidade de instalação. As bombas centrífugas submersas são comumente empregadas em sistemas de drenagem para transferir águas pluviais de áreas mais baixas para pontos de escoamento mais elevados (Figura 26).

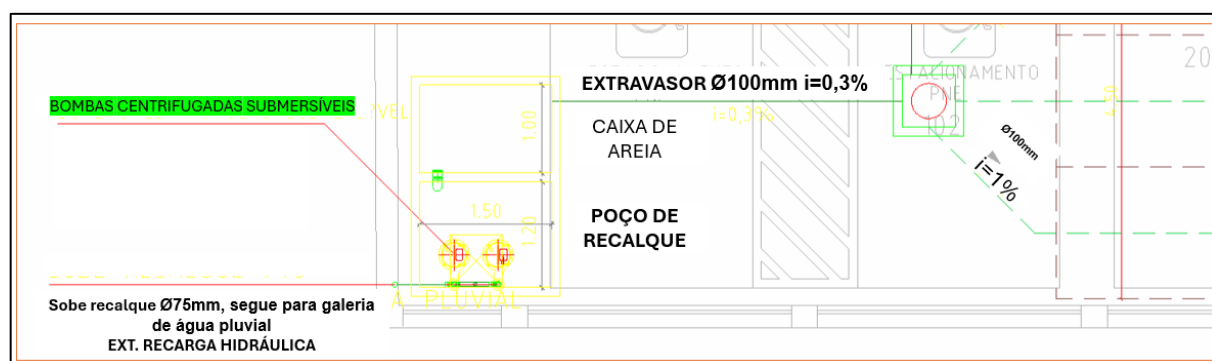


Figura 25: Trecho da passagem da bomba com recalque e extravasor
Fonte: Adaptado de SEDET, 2019.

Outro sistema é o poço de recalque (Figura 26) que coleta e armazena água pluvial antes de ser bombeada para a rede de drenagem ou para um ponto de descarte adequado. Este poço é essencial para sistemas de drenagem em áreas onde a gravidade não é suficiente para o escoamento natural das águas pluviais. A combinação de bombas centrífugas submersas e um poço de recalque assegura que a água pluvial seja eficientemente captada e movida para a rede de água pluvial, ajudando a prevenir alagamentos e mantendo a eficácia do sistema de drenagem.

4.2.2 Rede de Recarga Hidráulica – Infiltração/Percolação

O projeto do sistema de recarga hidráulica foi elaborado para captar exclusivamente as águas pluviais das coberturas do edifício. Essas águas serão direcionadas para uma rede de valas drenantes localizadas no pavimento subsolo (Figura 27). O sistema foi projetado de forma a evitar qualquer interconexão com outras instalações prediais, garantindo que as águas pluviais sejam tratadas e drenadas de maneira independente.

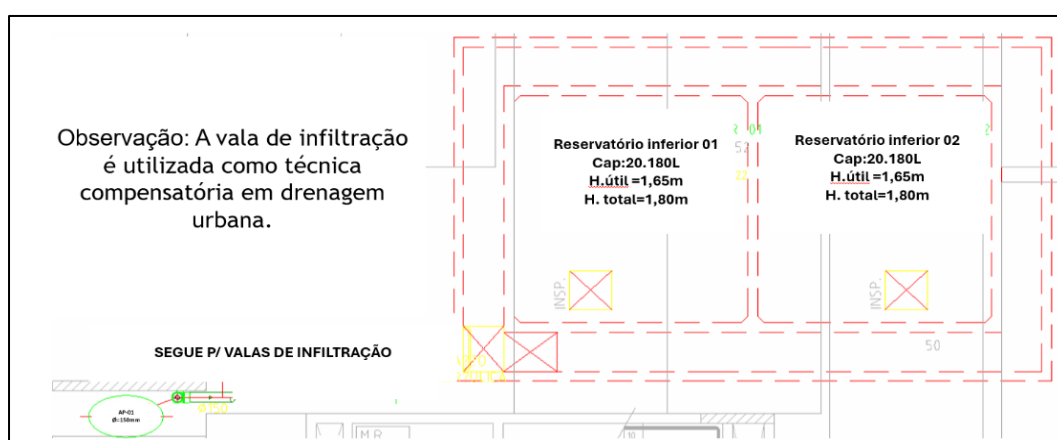


Figura 26: Segmento do projeto que exhibe os reservatórios e valas de infiltração
Fonte: Adaptado de SEDET, 2019.

A vala de infiltração é uma estrutura projetada para promover a absorção e percolação das águas pluviais no solo, contribuindo para o controle do escoamento superficial e a recarga dos lençóis freáticos. As águas pluviais são direcionadas para a vala através de tubulações ou canais. Uma vez na vala, a água se infiltra no solo por ação da gravidade. O projeto da vala pode incluir sistemas de distribuição, garantindo que a água seja uniformemente dispersa ao longo de toda a estrutura.

Os sistemas de drenagem e recarga hidráulica são eficientes e atendem aos requisitos técnicos e normativos. O sistema de drenagem garante o escoamento adequado das águas

pluviais para a rede pública, evitando alagamentos. O sistema de recarga, por meio das valas de infiltração, contribui para a absorção e recarga dos lençóis freáticos, promovendo a sustentabilidade. Ambos os sistemas são satisfatórios, oferecendo uma gestão adequada e sustentável das águas pluviais.

4.3 Edifício multifamiliar C - 10% de taxa de permeabilidade

O edifício multifamiliar C (Figura 28) está situado no bairro Ponta Verde, uma área nobre e de alto valor imobiliário, localizada em uma planície litorânea da cidade. A área total construída do terreno é de 2.086,50 m². De acordo com a normativa municipal, a taxa de permeabilidade definida é de 10%, o que corresponde a uma área de 360 m². Esta área representa 17,25% da superfície do terreno natural e destina-se à absorção e percolação das águas pluviais no Pavimento Subsolo. O solo da área é predominantemente formado por argila e silte argiloso, com variações para areia e silte arenoso em determinadas regiões.



Figura 27: Modelagem em 3D do edifício C
Fonte: Google maps, 2023

A capacidade média de absorção do solo é de 75 litros/m² por por dia. Entre 2,50 e 7,50 metros de profundidade, encontra-se uma camada de argila silto-arenosa com compactação moderada. O lençol freático está localizado a uma profundidade média de 3,15 metros.

4.3.1 Rede de Drenagem

A concepção do projeto para o sistema de drenagem tem como objetivo captar as águas pluviais da cobertura, das varandas dos apartamentos e de áreas como o pavimento pilotis e a garagem (Quadro 13).

Prumada	Pavimentos				
	Coberta	<u>Pav.</u> Tipo	<u>Pav.</u> Garagem	<u>Pav.</u> Pilotis	<u>Pav.</u> Subsolo
AP-01	Área de Captação 31,15m²	Segue	Recebe <u>Cx. Sinf.</u>	Segue p/ Galeria	x
AP-02	Área de Captação 87,65m²	Segue	Segue	Segue	Segue p/ Vala Drenante
AP-03	Área de Captação 60,90m²	Segue	Recebe <u>Cx. Sinf.</u>	Segue p/ Galeria	x
AP-04	Área de Captação 65,70m²	Segue	Segue	Segue p/ Galeria	x
AP-05	Área de Captação 92,10m²	Segue	Segue	Segue p/ Galeria	X
AP - 06	Área de Captação 100,40m²	Segue	Segue	Segue p/ Galeria	X
AP – 07	Área de Captação 100,00m²	Segue	Recebe <u>Cx. Sinf.</u>	Segue p/ Galeria	x
AP-08	Área de Captação 90,85m²	Segue	Segue	Segue	Segue p/ Vala Drenante
AP-09	Área de Captação 31,60m²	Segue	Segue	Segue	Segue p/ Vala Drenante
AP – 10 ao 23	x	x	Recebe <u>Cx. Sinf.</u>	Segue p/ Galeria	X

Quadro 13: Concepção das Águas Pluviais
Fonte: Adaptado de SEDET, 2019

No pavimento pilotis, serão instalados registros nas extremidades dos coletores (registros de limpeza – permanecendo sempre fechados, sendo abertos apenas durante a limpeza do pavimento da garagem ou pilotis). No projeto, o sistema será interligado às calhas do subsolo para o encaminhamento das águas servidas, que serão posteriormente bombeadas para a rede pública de esgoto, da mesma forma que toda a rede de coleta de águas servidas do pavimento Subsolo.

A interligação do sistema de drenagem às calhas do subsolo para o encaminhamento das águas servidas, com posterior bombeamento para a rede pública de esgoto, está em desacordo com as normas e regulamentos de saneamento e infraestrutura urbanística vigentes. De acordo com as legislações e normativas municipais, as águas pluviais e as águas servidas (esgoto sanitário) devem ser tratadas e conduzidas de forma independente, a fim de evitar contaminações e sobrecarga nos sistemas de drenagem pública.

A mistura das águas pluviais com as águas servidas no sistema de drenagem pode comprometer a qualidade da água tratada e prejudicar a eficiência do tratamento nas estações de esgoto. Além disso, a interligação inadequada pode gerar sérios problemas operacionais e ambientais, como o transbordamento de esgoto para as vias públicas ou para corpos d'água. Portanto, é fundamental que o projeto de drenagem e esgoto esteja em conformidade com as normas de segregação e tratamento de cada tipo de água, conforme exigido pela legislação sanitária e pelo Código de Edificação e Urbanismo de Maceió.

4.3.2 Rede de Recarga Hidráulica – Infiltração/Percolação

A coleta das águas pluviais é realizada por meio de caixas sifonadas, interligadas a tubulações de PVC e caixas de passagem, que direcionam a água para o meio-fio e a galeria pública de drenagem. No pavimento pilotis, registros são instalados nas extremidades dos coletores, sendo mantidos fechados, com abertura restrita à limpeza do local. As águas servidas são conduzidas para calhas no subsolo e, posteriormente, bombeadas para a rede de esgoto. A segregação das águas pluviais e servidas é fundamental para a preservação ambiental, prevenindo a contaminação dos corpos d'água. A adoção de caixas sifonadas bem projetadas facilita o processo de drenagem, evitando infiltrações e danos estruturais, além de garantir o escoamento adequado da água (Figura 29).

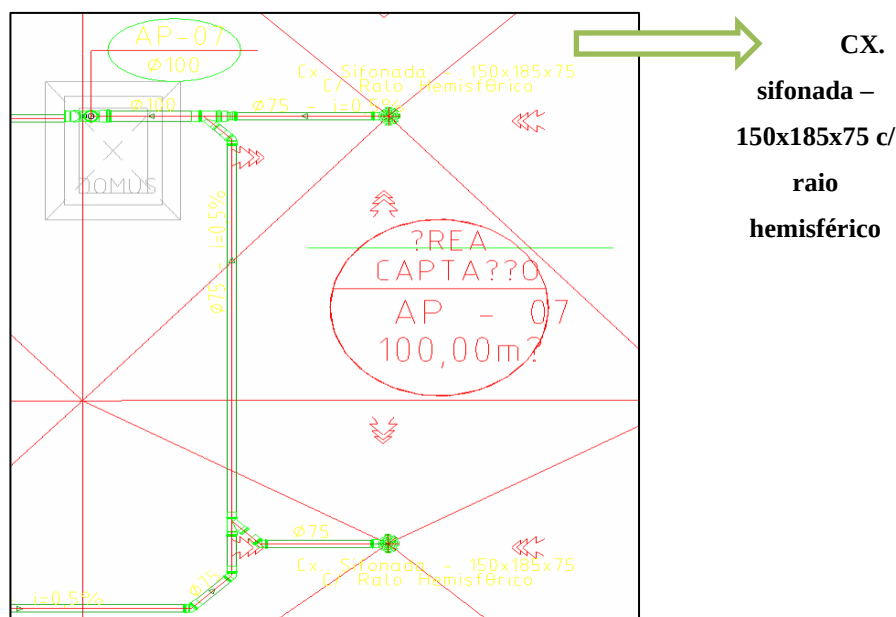


Figura 28: Detalhe do corte das caixas sifonadas no pavimento da cobertura
 Fonte: Adaptado, SEDET, 2019

O corte adequado das caixas sifonadas é essencial para garantir a eficiência do sistema de drenagem, prevenir danos estruturais e facilitar a manutenção. Além de permitir fácil acesso para limpeza e inspeção, também assegurando o bom funcionamento contínuo do sistema. A correta gestão das águas pluviais reduz a sobrecarga no sistema de esgoto, melhorando a eficiência do tratamento de águas residuais e a gestão geral dos recursos hídricos.

4.4 Edifício multifamiliar D – 5% de taxa de permeabilidade

O edifício multifamiliar D (Figura 30), situado no bairro Ponta Verde, ocupa um terreno com área construída de 1.281,75 m².



Figura 29: Modelagem em 3D do edifício D
 Fonte: Google maps, 2023

As características do solo natural do terreno indicam uma taxa média de absorção de 50 litros/m², sendo predominantemente composto por argila e silte argiloso. A camada de solo é formada por argila silte-arenosa, com profundidades variando de 1,00 a 3,50 metros, apresentando baixa compactação, conforme o estudo de sondagem.

4.4.1 Rede de Drenagem

O projeto do sistema de drenagem visa a captação das águas pluviais provenientes do telhado, varandas dos apartamentos, pavimento pilotis, estacionamento e garagem. O fluxo das águas será direcionado para o meio-fio e a galeria pública de drenagem pluvial, garantindo uma gestão eficiente e adequada das águas pluviais do edifício.

A solução técnica apresentada necessita ser revisada para assegurar que esteja em conformidade com as normas locais e requisitos técnicos de drenagem pluvial, uma vez que o projeto D não está de acordo com a norma.

No pavimento pilotis, serão instalados registros nas extremidades dos coletores, com dispositivo de limpeza, que permanecerão fechados e serão abertos apenas durante a lavagem do estacionamento, garagem ou pilotis. Esses registros serão conectados às calhas do subsolo, que direcionarão as águas servidas para bombeamento até a rede pública de esgoto, abrangendo toda a rede de coleta do pavimento subsolo.

4.4.2 Rede de Recarga Hidráulica – Infiltração/Percolação

É fundamental que o sistema de recarga hidráulica seja isolado de outros sistemas prediais, como esgoto ou águas residuais, para evitar contaminação e problemas na gestão hídrica. O projeto é exclusivamente voltado para a captação das águas pluviais, com interligação única à rede de valas drenantes (Figura 31), sem permitir conexões com outros sistemas prediais.

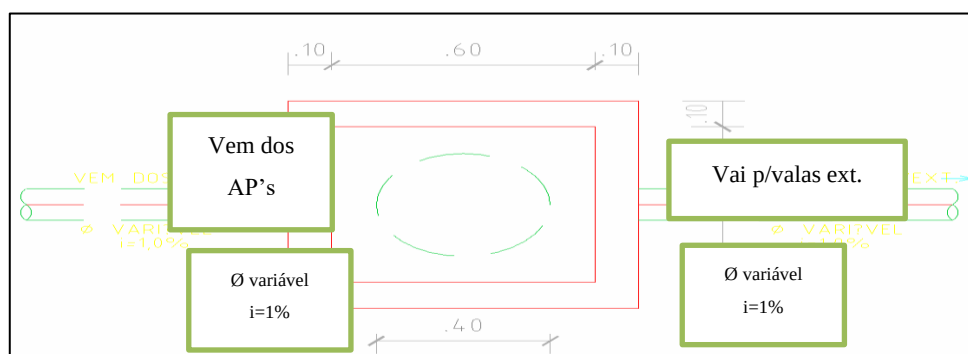


Figura 30: Trecho da rede de descarga hidráulica
Fonte: Adaptado, SEDET,2020

O sistema de recarga hidráulica foi projetado para captar as águas pluviais da cobertura do edifício e direcioná-las para uma rede de valas drenantes no pavimento subsolo, que as absorve e distribui eficientemente.

4.5 Edifício multifamiliar E - 5% de taxa de permeabilidade

O edifício multifamiliar E (Figura 32), localizado no bairro Cruz das Almas, possui uma área construída de 1.456 m². De acordo com o código vigente, é necessário destinar 5% dessa área para atender à taxa de permeabilidade do solo.



Figura 31: Modelagem de 3D do edifício E
Fonte: Google Maps, 2023

Foram coletadas as águas pluviais de uma área de cobertura de 79,76m² (5,47%) e destinadas a uma vala de infiltração. O solo tem classificação com predominância em solos argilosos. Esses solos são caracterizados por partículas finas que retêm água, resultando em baixa permeabilidade. Essa característica pode influenciar a drenagem local e a construção de edificações na região.

4.5.1 Rede de Drenagem

O projeto prevê o dimensionamento das águas pluviais da edificação uma parte para o sistema público de drenagem e parte para vala de infiltração a ser construída no subsolo da edificação.

O dimensionamento dos elementos que compõe o projeto seguiu equações e recomendações estabelecidas nas Normas Técnicas ABNT NBR 8160/1999, ABNT NBR 13969/1997 e ABNT NBR 10844/1989.

Adotou-se a divisão do edifício em sub-bacias, onde as águas pluviais da coberta, varandas e áreas que tenham a incidência de chuva serão coletadas por ralos pluviais e/ou

calhas e conduzidas através de condutores verticais de águas pluviais com Aproveitamento Pluvial (APs) e horizontais até seus pontos de deságue.

As vazões de projeto foram calculadas a partir do Método Racional, com o coeficiente de escoamento superficial de valor 1,00. Coeficiente de Manning de valor 0,011 (PVC) e intensidade de precipitação de 122mm/h. Os APs foram dimensionados a suportarem as vazões de contribuição de cada sub-bacia, onde se adotou tubo em PVC de $\varnothing$ 100mm.

Os condutores horizontais foram dimensionados a suportarem as vazões de chegada dos APs, adotando-se a declividade da tubulação de 1,00% e tubo em PVC de $\varnothing$ 50mm, $\varnothing$ 100mm e $\varnothing$ 150mm. Com vazões de contribuição total na ordem de 33,92l/s na sarjeta da rua do edifício (Figura 33).

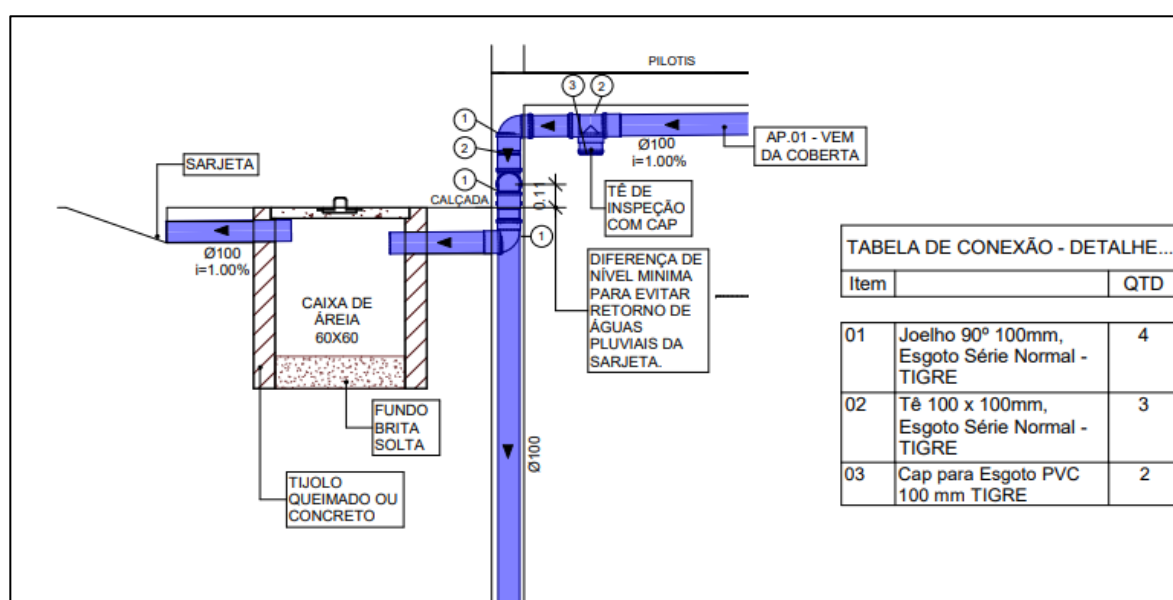


Figura 32: Especificações do sistema de drenagem no subsolo do edifício E
Fonte: SEDET,2020

A solução da vala de infiltração foi adotada para atender à exigência do Art. 281 do Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió, onde foi separada uma área do empreendimento, equivalente à exigida pela Lei, para captar as águas pluviais e direcioná-las ao solo para infiltração.

Assim, a vala de infiltração foi dimensionada a atender uma vazão de 162l/min gerada a partir da área total de 79,76m² e escoada pelo condutor vertical denominado AP.01. O percurso das águas pluviais no sistema de drenagem começa com a captação das águas provenientes da cobertura do edifício, que são direcionadas para uma área com diferença de nível (Figura 34).

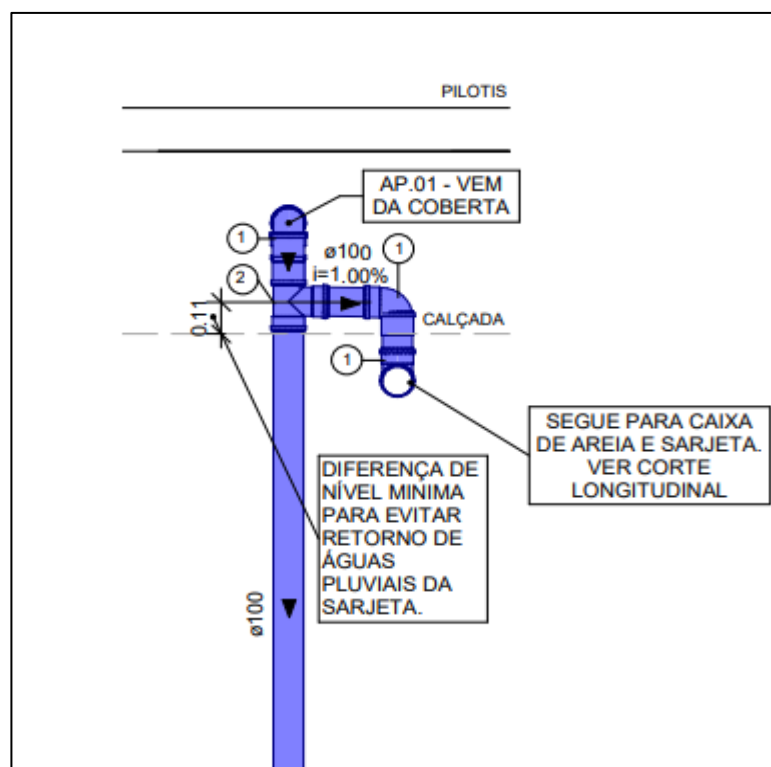


Figura 33: Diferença mínima adotada para evitar retorno das águas pluviais
Fonte: Projeto SEDET, 2020

Este dispositivo foi projetado para impedir o retorno das águas da sarjeta para o sistema de coleta, garantindo um fluxo unidirecional. Após a passagem pela área de diferenciação de nível, a água é encaminhada para uma caixa de areia, que funciona como um filtro para remover partículas sólidas e detritos. Esse processo assegura que apenas água limpa seja conduzida para a próxima etapa do sistema.

Verificou-se por meio do Relatório de Sondagem Geotécnica nº 3514 10/2020 fornecida pela empresa de Maceió, a presença de lençol freático na região do empreendimento com profundidade média de 2,55m em relação ao nível do meio-fio.

Na literatura e nos manuais de drenagem há uma recomendação de que a distância mínima entre o fundo da vala de infiltração e o nível do lençol freático seja de 1,00m, assim como, o nível do lençol freático na região é influenciado por vários fatores, tais como, o nível da maré, condições climáticas, exploração das águas subterrâneas etc.

Diante disso, será instalado um extravasor do sistema da vala de infiltração para que nas condições em que não seja possível a infiltração das águas pluviais no solo, serão direcionadas para o sistema público de drenagem.

A instalação de um extravasor apresenta alguns desafios e impactos negativos que devem ser cuidadosamente considerados.

Primeiramente, a sobrecarga do sistema de drenagem público é um risco significativo, especialmente em áreas urbanas densas, onde a drenagem já pode ser insuficiente. O envio de águas pluviais excedentes para esses sistemas pode causar alagamentos, erosão de vias e até inundações em áreas vulneráveis.

Além disso, a desconsideração do ciclo natural da água é outro ponto crítico. A infiltração das águas pluviais no solo é fundamental para a recarga dos lençóis freáticos e o controle da qualidade da água subterrânea. O uso constante do extravasor pode comprometer esse processo, afetando o equilíbrio hídrico local e a sustentabilidade a longo prazo, além de reduzir a água disponível para o ecossistema e prejudicar a vegetação e habitats naturais.

Por fim, a falta de soluções integradas pode tornar o extravasor apenas uma medida paliativa. Em locais com drenagem insuficiente, é essencial que o projeto contemple outras soluções, como pavimentos permeáveis, jardins de chuva e sistemas de captação de águas pluviais, que promovam a infiltração e aliviem a pressão sobre o sistema de drenagem pública.

4.5.2 Rede de Recarga Hidráulica – Infiltração/Percolação

Visando atender ao Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió, o projeto contempla a implantação de um poço de recalque em áreas onde a gravidade não é suficiente para conduzir as águas pluviais ou servidas.

Instalado em locais estratégicos onde a inclinação natural é inadequada, o poço de recalque é dimensionado para suportar o volume de água coletado e equipado com bombas que são acionadas automaticamente quando o nível da água atinge um ponto crítico. Esse sistema assegura uma drenagem eficiente, prevenindo alagamentos e protegendo a infraestrutura ao evitar o acúmulo de água em áreas onde a drenagem natural não é viável.

Este poço funciona como ponto de coleta, acumulando as águas para, em seguida, ser bombeadas para um nível superior ou direcionadas ao sistema de esgoto público (Figura 35).

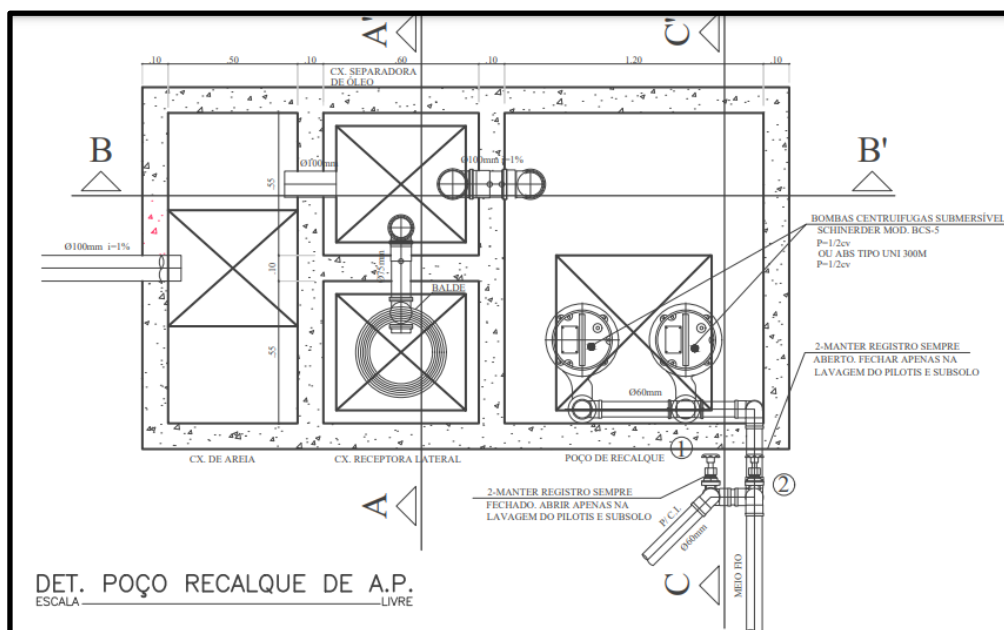


Figura 34: Corte detalhado do poço de recalque
Fonte: SEDET, 2020.

Porém, as águas pluviais não devem ser direcionadas diretamente ao sistema de esgoto público, pois isso pode sobrecarregar a rede de esgoto e causar problemas como alagamentos e poluição. O sistema de esgoto é projetado principalmente para águas residuais, enquanto as águas pluviais devem ser tratadas de forma separada, preferencialmente através de sistemas de drenagem ou de infiltração no solo, como valas de infiltração, poços de drenagem, entre outros.

É fundamental considerar que o nível do lençol freático pode flutuar devido a fatores como variações na maré, condições climáticas e a exploração de águas subterrâneas. Para acomodar essas variações e assegurar o funcionamento eficaz do sistema, foi decidido incluir um extravasor na vala de infiltração. Esse dispositivo permite que, quando a capacidade de absorção do solo é insuficiente, as águas pluviais sejam desviadas para o sistema público de drenagem.

Embora úteis, os extravasores (Figura 36) apresentam desafios. Exigem manutenção regular para evitar obstruções por detritos e, durante chuvas intensas e frequentes, podem não suportar grandes volumes de água, resultando em escoamentos inadequados e sobrecarga do sistema de drenagem. Portanto, é fundamental realizar uma análise detalhada das condições locais e adotar medidas de manutenção preventiva para garantir a eficácia do sistema.

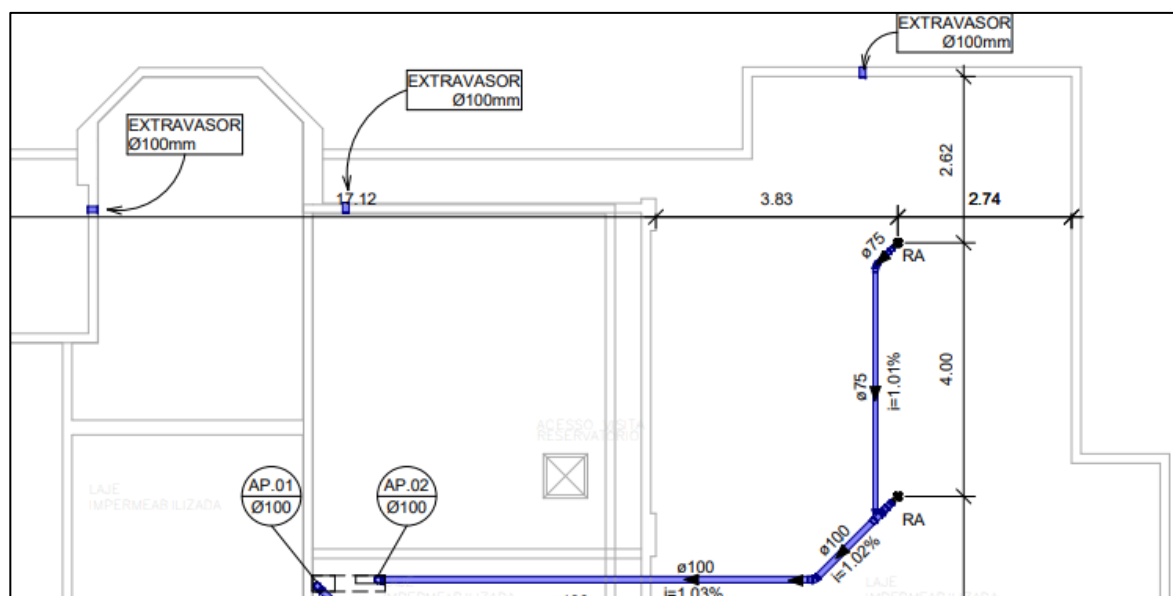


Figura 35: Ilustração das instalações dos extravasores
Fonte: SEDET,2020

O parecer geotécnico avalia as condições de permeabilidade do subsolo para a destinação de parte das águas pluviais do edifício multifamiliar E. Este documento foi elaborado em atendimento a uma solicitação da Prefeitura de Maceió, por meio da Secretaria Municipal de Infraestrutura (SEMINFRA), que requer a destinação de parte das águas da chuva para infiltração no subsolo. Com base nos perfis de sondagem SPT, foi analisada a viabilidade da implementação de sistemas de valas de infiltração ou sumidouros para a destinação parcial das águas pluviais da edificação.

A elaboração do parecer fundamentou-se no Relatório de Sondagem nº 3514/10-2020 da empresa Geotécnica de Maceió - AL, no projeto arquitetônico e na Norma Brasileira NBR 13.969/97 – "Tanques Sépticos: Unidades de tratamento complementar e disposição final de efluentes líquidos – Projeto, construção e operação.

As valas de infiltração são amplamente utilizadas para permitir a infiltração de efluentes tratados ou águas pluviais no subsolo. No entanto, para que esse sistema funcione corretamente, dois requisitos básicos devem ser atendidos. Primeiro, o terreno deve apresentar uma taxa de infiltração (ou percolação) compatível com a vazão demandada. Em geral, solos granulares, como areias e siltes, atendem a essa condição. O segundo requisito é que o fundo das valas esteja localizado acima do lençol freático, a uma distância mínima suficiente para garantir uma espessura filtrante. Isso ocorre porque o solo abaixo do nível d'água se encontra saturado e não é capaz de absorver mais água.

Portanto, recomendamos a adoção de valas de infiltração apenas em solos predominantemente arenosos, com uma espessura mínima (H) de 1,5 m entre o fundo das

valas e a cota máxima que o lençol freático pode atingir no terreno (Figura 37). Essa cota é normalmente estimada com base no nível do lençol freático medido nas sondagens SPT, somando-se a ele uma possível elevação do N.A. durante períodos de chuvas intensas.

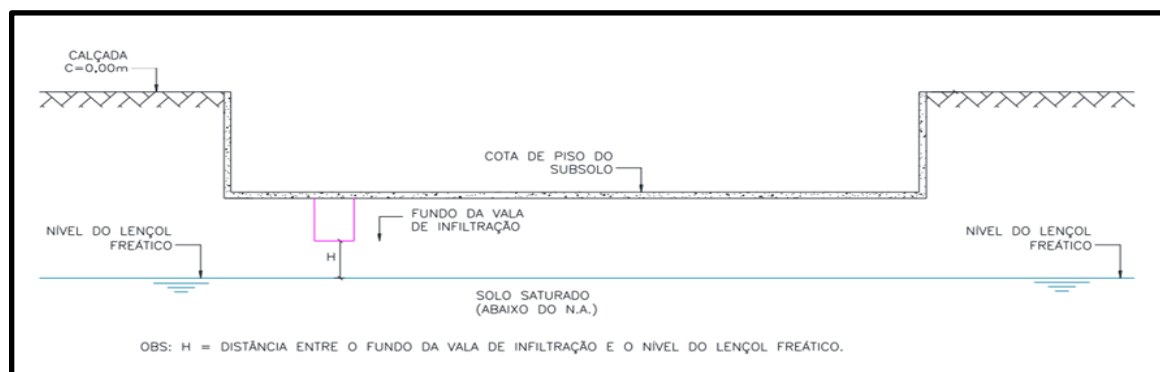


Figura 36: Corte esquemático com o nível do subsolo e vala de infiltração
Fonte: SEMINFRA,2023

Quando a adoção de valas de infiltração for viável, seu dimensionamento deverá ser realizado por meio de testes de infiltração no próprio terreno, conforme as recomendações da NBR 13.969/97 - "Tanques Sépticos: Unidades de tratamento complementar e disposição final de efluentes líquidos - Projeto, construção e operação". O cálculo da vazão destinada às valas será de responsabilidade do projetista das instalações hidrossanitárias da edificação. No entanto, em edifícios com subsolo submerso ou com distância inferior a 1,5 m entre o fundo das valas de infiltração e o nível do lençol freático, não será possível destinar as águas pluviais para o subsolo, pois o terreno já se encontra saturado.

No caso do estudo em questão, o subsolo do edifício E será instalado a uma cota de $C = -2,20$ m em relação ao nível de referência ($RN = 0,0$ m). Contudo, o relatório de sondagem nº 3514, datado de outubro de 2020, fornecido pela empresa Geotécnica de Maceió, indica que a área apresenta camadas predominantemente arenosas, com o nível do lençol freático situado a $-2,55$ m na época das sondagens. Isso significa que a distância entre a laje do subsolo e o nível d'água é de apenas 0,35 m, tornando inviável a destinação de águas pluviais para o subsolo.

O procedimento de sondagem adotado consistiu em perfuração com circulação d'água (ou lama bentonítica), percussão, coleta de amostras a cada metro e determinação do índice de resistência à penetração, realizado por três penetrações de 15 cm, com o número de golpes correspondente. A profundidade do lençol freático foi registrada logo após a conclusão da perfuração e novamente 24 horas depois. Esse processo seguiu as diretrizes da NBR 6484/2011 para sondagens de simples reconhecimento com SPT.

4.6 Unidade Hoteleira – 10% de taxa de permeabilidade

A unidade hoteleira, situada no bairro Pajuçara (Figura 38), possui uma área construída de 1.571,03 m² e, conforme o Código de Edificações e Urbanismo de Maceió, reservou 5% de sua área total para a preservação de espaço permeável, com o objetivo de garantir a recarga hídrica e a percolação. Isso corresponde a uma área de 78,55 m² destinada a esse fim.



Figura 37: Unidade hoteleira
Fonte: Autora.2024

O terreno natural da edificação possui características considerando taxa de absorção média de 75 litros/m² por dia com características de consistência no caso de solo com predominância de argila e silte argiloso, e compactidade no caso de solo com predominância de areia e silte arenoso em profundidades entre 1,30 e 5,50 metros, com medianamente compactação e nível médio do lençol freático no terreno em 3,50m, conforme relatório de sondagem.

4.6.1 Rede de Drenagem

A concepção do projeto para o sistema de recarga hidráulica consiste em única e exclusivamente a captação de águas pluviais da cobertura e interligação com os poços absorventes situados no pavimento subsolo (Quadro 14), não se admitindo quaisquer interligações com outras instalações prediais.

	Pav. Coberta	Pav. Barrilete	Pav. Cobertura	Pav. Tipo	Pav. Intermediário	Pav. Mezanino	Pav. Térreo	Pav. Subsolo
AP-01	Área de Captação 241,54m ²	Segue	Segue	Segue	Segue	Segue	Segue p/ Galeria	x
AP-02	x	Área de Captação 23,10m ²	Segue	Segue	Segue p/ AP-02+04	x	x	x
AP-03	x	Área de Captação 46,12m ²	Segue	Segue	Segue	Área de Captação 2,90m ²	Segue p/ Galeria	x
AP-04	x	Área de Captação 36,30m ²	Segue	Segue	Segue p/ AP-02+04	x	x	x
AP-05	x	x	Área de Captação 76,04m ²	Segue	Segue p/ AP-05+06	x	x	x
AP-06	x	x	Área de Captação 67,67m ²	Segue	Segue p/ AP-05+06	x	x	x
AP-Lt.01	x	x	x	x	x	Área de Captação 99,78m ²	Segue	Segue p/ Vala de Infiltração
AP-Lt.02	x	x	x	x	x	Área de Captação 47,14m ²	Segue p/ Galeria	x
AP-Lt.03	x	x	x	x	x	Área de Captação 41,61m ²	Segue p/ Galeria	x
AP-Lt.04	x	x	x	x	x	Área de Captação 85,22m ²	Segue p/ Galeria	x
AP-02+04	x	x	x	x	Área de Captação 113,18m ² AP-02 e AP-04	Segue	Segue p/ Galeria	x
AP-05+06	x	x	x	x	AP-05 e AP-06	Segue	Segue p/ Galeria	x

Quadro 14: Concepção das águas pluviais
Fonte: Adaptado de SEDET, 2019

A coleta será realizada por meio de caixas sifonadas localizadas conforme o projeto, e a condução das águas será feita através de tubulações de PVC, interligadas a caixas de passagem distribuídas estrategicamente pelo terreno. As águas serão direcionadas para a galeria pública de águas pluviais

Contudo, o projeto diverge da norma vigente, o que resultou na necessidade de revisão. As divergências estão relacionadas principalmente ao dimensionamento e à disposição das tubulações e caixas de passagem, que, conforme os critérios estabelecidos, não atendem integralmente às exigências da legislação local. O replanejamento está sendo realizado para adequar o sistema de drenagem às normas técnicas, garantindo a eficiência do sistema e sua conformidade com os requisitos legais.

O sistema também prevê a instalação de registros nas extremidades dos coletores (registro de limpeza - que deve permanecer fechado, sendo aberto apenas para a limpeza do pavimento térreo), além de sua interligação com as calhas do subsolo, para o encaminhamento das águas servidas. Essas águas serão posteriormente bombeadas para a rede coletora de esgoto, assim como toda a rede de coleta de águas servidas dos pavimentos subsolos.

A abordagem de direcionar as águas pluviais para a rede de esgoto diverge das melhores práticas e normas ambientais, pois sobrecarrega o sistema de esgoto, que deve ser destinado apenas a águas servidas. O correto seria separar a drenagem das águas pluviais, utilizando sistemas adequados como valas de infiltração ou retenção, para garantir a eficiência e sustentabilidade do sistema.

4.6.2 Rede de Recarga Hidráulica – Infiltração/Percolação

Dessa forma, foi necessário reservar uma área de 80,00 m² do terreno natural para a absorção e percolação das águas pluviais, por meio da implementação de duas valas de infiltração com dimensões de 5,00 m x 8,00 m, localizadas no pavimento subsolo (Figura 39), conforme as exigências estabelecidas pelo Código de Urbanismo e Edificações de Maceió.

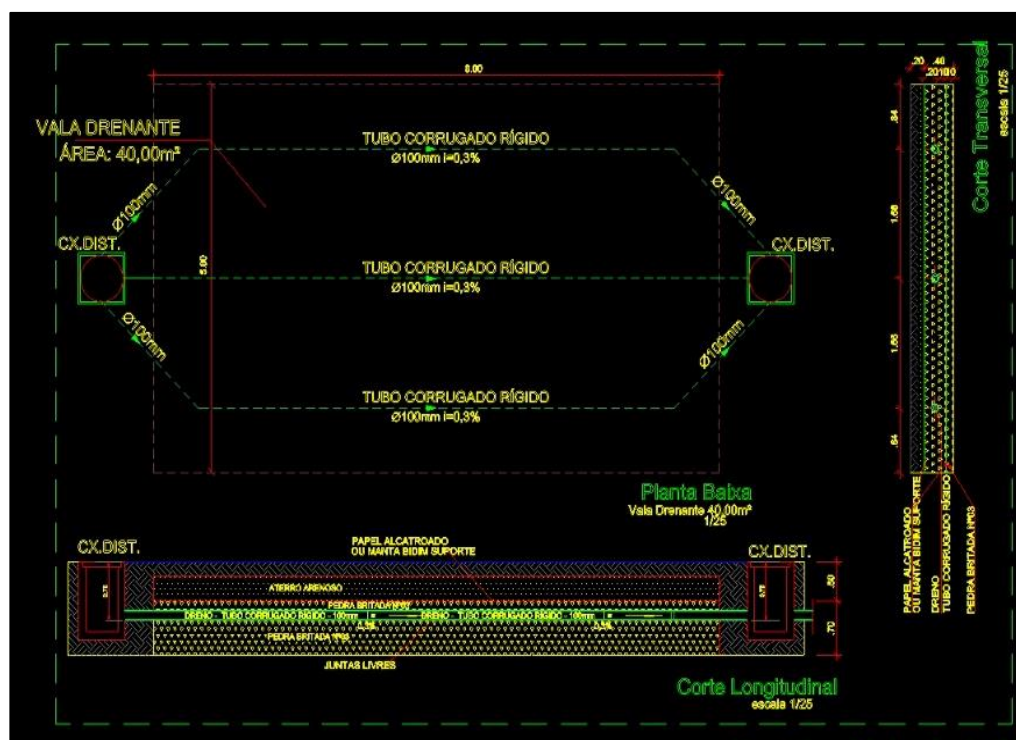


Figura 38: Corte longitudinal da rede de recarga hidráulica
Fonte: SEMINFRA,2023

No entanto, essa medida deve ser cuidadosamente planejada, levando em consideração as características do solo e a capacidade de infiltração da área reservada, para garantir sua eficiência. Além disso, é fundamental que o projeto de drenagem seja monitorado de forma contínua, para verificar possíveis obstruções nas valas de infiltração e realizar as manutenções necessárias. Caso contrário, as valas podem não ser suficientes para absorver o volume de águas pluviais, prejudicando a eficácia do sistema e acarretando alagamentos no subsolo ou sobrecarga no sistema de drenagem pública.

Ademais, a instalação de valas de infiltração em áreas subterrâneas deve considerar a presença do lençol freático e a profundidade das estruturas, pois, se o lençol estiver muito próximo à superfície, o processo de infiltração será prejudicado.

Durante a fase de planejamento e avaliação geotécnica, é essencial realizar um detalhamento preciso do terreno, a fim de assegurar que a solução adotada seja tecnicamente viável e eficiente a longo prazo. Esse processo visa minimizar riscos ambientais e estruturais, garantindo a sustentabilidade e a segurança do projeto.

4.7 Corporativo de saúde – 5% de taxa de permeabilidade

O edifício Corporativo de Saúde (Figura 40), localizado no bairro Gruta de Lourdes, ocupa um terreno de 1.713,82 m². Conforme a normativa municipal, foi aplicada uma taxa de

5% sobre a área total do terreno para o sistema de captação de águas pluviais, resultando em uma área destinada de 85,69 m².



Figura 39: Corporativo de saúde
Fonte: Autora, 2024

O terreno natural da edificação apresenta solo com taxa de absorção média variando entre 20 e 40 litros/m² por dia, sendo predominantemente composto por argila arenosa, conforme o relatório de sondagem. Para análise, adota-se uma taxa de absorção média de 30 litros/m² por dia, que reflete as condições observadas no local, proporcionando uma estimativa precisa para o dimensionamento do sistema de drenagem e a gestão eficiente das águas pluviais.

4.7.1 Rede de Drenagem

A coleta será realizada por meio de caixas sifonadas localizadas conforme o projeto, com a condução das águas através de tubulações de PVC, interligadas a caixas de passagem distribuídas estrategicamente pelo terreno. Essas águas serão direcionadas para a galeria pública de águas pluviais. O projeto do sistema de drenagem foi concebido para captar as águas pluviais provenientes da cobertura, lajes técnicas, pavimentos de garagem, estacionamento e pilotis (Quadro 15)

Prumada	Pavimentos								
	Pav. Coberta	Pav. Cobertura	Pav. Tipo	Pav. Garagem	Pav. Estacionamento	Pav. Pilotis	Pav. Subsolo 01	Pav. Subsolo 02	Pav. Subsolo 03
AP-01	Área de Captação 91,20m²	Segue	Segue	Recebe Cx. Sinf.	Recebe Cx. Sinf.	Segue p/ Galeria	x	x	x
AP-02	Área de Captação 64,15m²	Segue	Segue	Segue	Segue	Segue	Segue	Segue	Segue p/ Poço Absorvente
AP-03	Área de Captação 79,65m²	Segue	Segue	Recebe Cx. Sinf.	Recebe Cx. Sinf.	Segue p/ Galeria	x	x	x
AP-04	Área de Captação 89,95m²	Segue	Segue						
AP-05	Área de Captação 48,80m²	Segue	Segue						
AP-06	Área de Captação 85,85m²	Segue	Segue						
AP-07	x	Recebe Cx. Sinf. + Drenos	Segue						
AP-08	Área de Captação 88,45m²	Segue	Segue						
AP-09	x	Recebe Cx. Sinf. + Drenos	Segue						
AP-10	x	Recebe Cx. Sinf. + Drenos	Segue						
AP-T.01	Área de Captação 11,20m²	Recebe Cx. Sinf.	Recebe Cx. Sinf.						
AP-T.02/05	x								
AP-T.03/04	Área de Captação 9,15m²								
AP-S.01 AO 04	x	x	x	x	x	x	Recebe Cx. Sinf.	Recebe Cx. Sinf.	Segue p/ Cx. Separadora de água e óleo

Quadro 15: Concepção das águas pluviais
Fonte: Adaptado de SEDET, 2019

Além disso, serão instalados registros de limpeza nas extremidades dos coletores, os quais deverão permanecer fechados, sendo abertos somente quando necessário para a lavagem dos pavimentos de garagem, estacionamento ou pilotis. O sistema também será integrado às calhas do subsolo, com o direcionamento das águas servidas para o bombeamento até a estação de tratamento de esgoto, conectando-se à rede de coleta de águas servidas dos pavimentos subsolos.

Integrar as águas pluviais com as águas servidas, direcionando-as para o bombeamento até a estação de tratamento de esgoto, pode sobrecarregar o sistema de drenagem e aumentar custos operacionais. Idealmente, as águas pluviais e as águas servidas devem ser tratadas separadamente, evitando impactos negativos e tornando o sistema mais eficiente e sustentável.

Portanto, é essencial revisar o projeto, uma vez que diverge das diretrizes estabelecidas pelo Código de Urbanismo de Maceió, a fim de garantir plena conformidade com as regulamentações legais e normativas locais. Essa revisão ajudará a prevenir problemas de não conformidade, além de evitar impactos ambientais e urbanos negativos.

4.7.2 Rede de Recarga Hidráulica - Infiltração/Percolação

Foi desenvolvido um sistema exclusivo para a captação e percolação das águas pluviais, com áreas de absorção no pavimento subsolo. Não são permitidas interligações com outras instalações prediais, visando garantir a integridade e eficiência do sistema de drenagem. Essa medida evita contaminação cruzada, assegura o direcionamento correto das águas pluviais para os poços absorventes e assegura o cumprimento das normas ambientais e técnicas vigentes, mantendo o sistema funcional, sustentável e alinhado aos objetivos de manejo adequado das águas pluviais.

O projeto inclui uma área permeável de 16,25 m² no jardim do pavimento pilotis, destinada à infiltração das águas pluviais e à gestão sustentável dos recursos hídricos. Para ampliar essa capacidade, foi reservado um total de 94,24 m² do terreno para a coleta e percolação das águas pluviais. Serão construídos dois poços absorventes com dimensões de Ø1,50 m x 10 m, conforme as exigências do Código de Urbanismo e Edificações de Maceió.

Além disso, os registros serão conectados às calhas do subsolo, encaminhando as águas servidas para o bombeamento e posterior direcionamento à estação de tratamento de esgoto. Esse processo será aplicado a toda a rede de coleta dos pavimentos subsolos.

O sistema de recarga hidráulica é projetado para captar águas pluviais da cobertura e direcioná-las para os poços absorventes no pavimento subsolo. O projeto estabelece prumadas

e pavimentos de cobertura que encaminham as águas pluviais para a galeria pública. Para garantir a eficiência do sistema, caixas sifonadas serão instaladas em áreas específicas, sendo proibidas interligações com outras instalações prediais.

A sondagem do solo será realizada por perfuração com circulação d'água (ou lama bentonítica) e percussão. A cada metro de perfuração, amostras serão coletadas e o índice de resistência à penetração será medido com três penetrações de 15 cm, registrando o número de golpes correspondentes. A profundidade do lençol freático será registrada imediatamente após a perfuração e novamente após 24 horas, conforme a NBR-6484/2001 – Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT.

Os perfis de sondagem apresentados neste relatório contêm três registros do número de golpes para penetração de 15 cm (Tabela 3). O valor do SPT é calculado somando os golpes das segunda e terceira penetrações de 15 cm, medidos por um impacto de 65 kg com altura de queda de 75 cm, para penetrar os últimos 30 cm do solo. O relatório também inclui um gráfico (ANEXO A) que mostra a relação entre o SPT e a profundidade, além do registro da presença ou ausência do lençol freático.

ARGILA E SILTE ARGILOSO	Nº DE GOLPES (SPT)	TENSÕES ADM (kg/cm ²)
Muito mole	≤ 2	< 0,30
Mole	3 a 5	0,30-0,60
Média	6 a 10	0,60-1,20
Rija	11 a 19	1,20-2,40
Dura	>19	>2,40

Tabela 3: Especificações do solo e suas respectivas tensões
Fonte: Adaptado da Agm,2017

Em conformidade com as diretrizes, foram realizados seis furos, perfurando um total de 150,56 metros (Tabelas 5 e 6). A profundidade média do lençol freático, em relação ao nível de referência (RN), não registrou presença de água até a profundidade sondada. O RN, definido como 0,00 metros, foi estabelecido a partir do poste (Tabela 4). As informações obtidas foram correlacionadas com a taxa de trabalho e SPT. As tabelas fornecem dados essenciais para a análise das fundações, considerando fatores como profundidade, dimensões, forma, recalques admissíveis e a presença de camadas com menor capacidade de carga acima do nível de assentamento das fundações.

ARGILA E SILTE ARENOSO	Nº DE GOLPES (SPT)	TENSÕES ADM
Fofa	≤ 4	$< 1,0$
Pouco compacta	5 a 8	1,0-2,0
Medianamente compacta	9 a 18	2,0-4,0
Compacta	19 a 40	4,0-6,0
Muito compacta	> 40	$> 6,0$

Tabela 4: Tensão Admissível do Solo (kg/cm²)

Fonte: Adaptado da Agm,2017

O "croqui de locação da retirada de areia e silte arenoso" é um esboço que ilustra a área e o processo de remoção desses materiais do solo. Este tipo de croqui é fundamental para o planejamento e gestão da remoção de materiais em projetos de construção e engenharia, garantindo a execução eficiente e conforme as especificações do projeto (Figura 41).

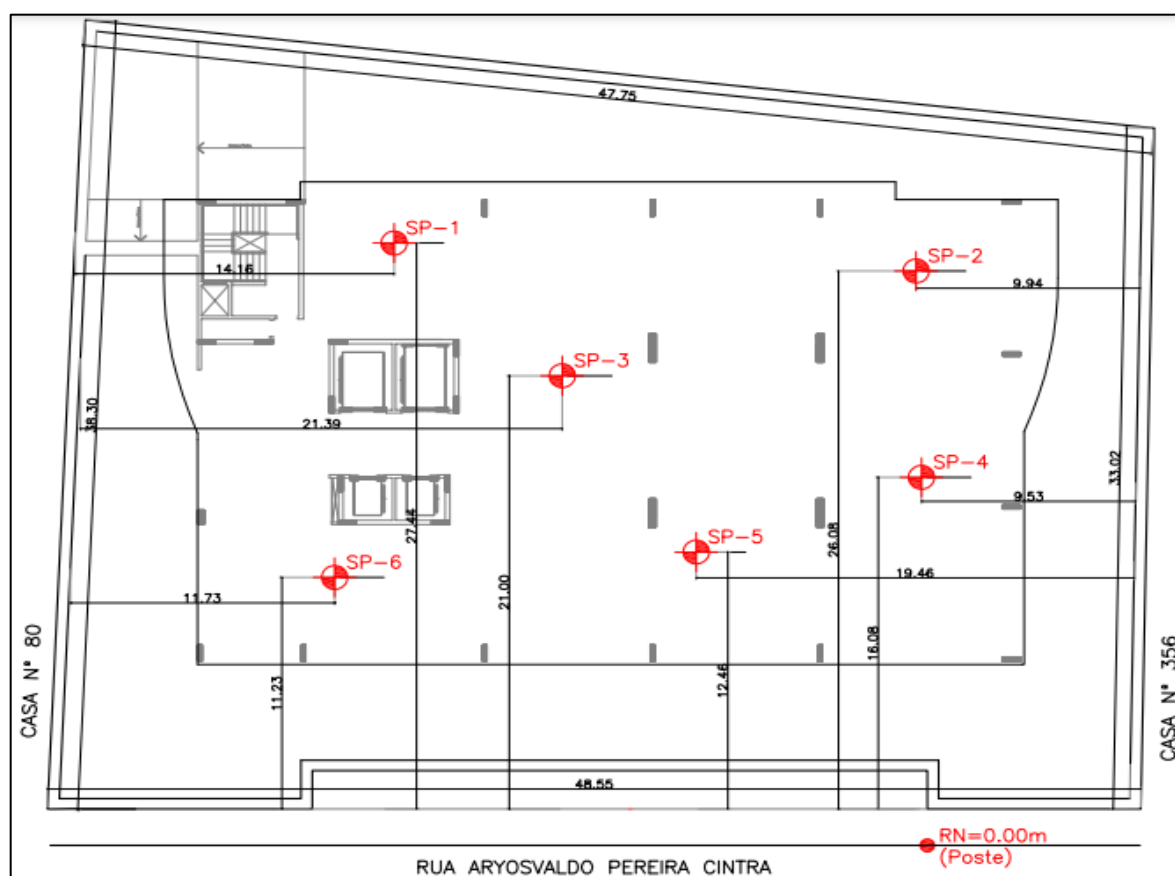


Figura 40: Croqui da locação da retirada da areia e silte arenoso

Fonte: Agm,2017

Portanto, o croqui de locação da retirada da areia e silte arenoso é uma ferramenta essencial no planejamento e gerenciamento da remoção de materiais do solo. Assegurando a execução eficiente e conforme as especificações do projeto, garantindo o cumprimento dos requisitos técnicos e facilitando o controle das atividades de escavação. Sua utilização contribui diretamente para a organização, monitoramento adequado e sucesso da obra, evitando desvios e assegurando a conformidade com as diretrizes estabelecidas.

4.8 Considerações gerais sobre os projetos analisados

Destaca-se, no estudo, a influência das incertezas no projeto e no desempenho de sistemas de captação de água pluvial, bem como a complexidade enfrentada por projetistas e usuários. Ressalta-se a necessidade de considerar fatores como condições climáticas locais, características do terreno e preferências dos usuários. Enfatiza-se, ainda, a importância de estratégias flexíveis e adaptativas para garantir a eficácia e a sustentabilidade desses sistemas (Pacheco e Alves, 2023).

A análise dos projetos de drenagem apresentados (Quadro 16) revela um cenário preocupante em relação à conformidade com as normas de urbanismo e drenagem da cidade de Maceió. Embora sete projetos tenham sido aprovados pela Prefeitura, apenas dois, o Edifício C e o Corporativo de Saúde, atendem adequadamente aos requisitos estabelecidos, demonstrando a segregação correta entre águas pluviais e servidas, além da implementação de sistemas eficientes de recarga hidráulica.

Esses projetos evidenciam o cumprimento das exigências técnicas e representam boas práticas em termos de gestão hídrica. Por outro lado, os projetos dos Edifícios A, B, D, E e da Unidade Hoteleira apresentam falhas substanciais, principalmente pela interligação inadequada entre as águas pluviais e servidas, além do direcionamento das águas pluviais para a rede de esgoto. A instalação de extravasores e a falta de separação entre os sistemas são questões críticas que não só comprometem a eficiência dos sistemas de drenagem, mas também têm o potencial de sobrecarregar a infraestrutura pública, prejudicando a sustentabilidade hídrica da cidade.

A prática de adotar soluções paliativas, como o envio das águas pluviais para sistemas inadequados, aumenta o risco de alagamentos e coloca em risco o equilíbrio ambiental da área.

Tipo de Imóvel	Rede de Drenagem	Rede de Recarga Hídrica - Infiltração/Percolação	Observação
Edifício A	Coleta das águas pluviais por caixas sifonadas e tubulações de PVC. Direcionamento para sistema de tratamento de reutilização.	Valas de infiltração no Pavimento Subsolo 02, área de 1.179,00 m ² (21,66%)	Inconsistências no projeto, pois as águas pluviais são direcionadas tanto ao sistema de tratamento para reutilização quanto às águas servidas, bombeadas para a estação de esgoto, criando ambiguidade no tratamento e encaminhamento das águas pluviais.
Edifício B	Coleta das águas pluviais realizada por caixas sifonadas, com tubulações de PVC interligadas a caixas de passagem, direcionadas à galeria pública. Instalação de registros para limpeza no pavimento garagem, conforme normas de drenagem pluvial.	Vala de infiltração projetada para promover a absorção e percolação das águas pluviais, com sistema de distribuição uniforme.	A segregação entre águas pluviais e águas servidas não está conforme as normas do Código de Urbanismo e da NBR 10844, já que a interligação das águas servidas às calhas do subsolo e o direcionamento para bombeamento até a rede de esgoto devem ser evitados, conforme as exigências legais de separação dos sistemas.
Edifício C	O sistema de drenagem capta águas pluviais exclusivamente da cobertura, com caixas sifonadas interligadas a tubulações de PVC, direcionando-as ao meio-fio e à galeria pública. Não há interligações com outras instalações prediais.	O sistema de recarga hidráulica capta águas pluviais da cobertura, direcionando-as para as valas drenantes no pavimento subsolo	De acordo o Código de Urbanismo de Maceió: segregação correta entre drenagem pluvial e águas servidas. Sistema de recarga adequado, direcionando apenas águas pluviais para as valas drenantes.
Edifício D	Sistema de drenagem para captação das águas pluviais do telhado, varandas, pavimento pilotis, estacionamento e garagem, direcionando-as para o meio-fio e a galeria pública de drenagem.	Captação das águas pluviais com interligação única à rede de valas drenantes.	Sistema de drenagem não conforme com a norma. A solução técnica precisa ser revista para garantir a conformidade com as normas locais e requisitos de drenagem.

Edifício E	O projeto prevê o dimensionamento das águas pluviais, com parte direcionada ao sistema público de drenagem e parte para vala de infiltração no subsolo. As águas pluviais são coletadas por ralos pluviais/calhas e conduzidas até pontos de deságue, seguindo as normas ABNT NBR 8160/1999, NBR 13969/1997 e NBR 10844/1989.	O projeto inclui poços de recalque em locais onde a gravidade não é suficiente para a condução das águas, com bombas acionadas automaticamente quando o nível atinge o ponto crítico, assegurando drenagem eficiente.	A instalação do extravasor no sistema de recarga hidráulica pode sobrecarregar o sistema de drenagem pública, especialmente em áreas urbanas densas, e comprometer a infiltração das águas no solo. Portanto, o projeto não está em conformidade com as melhores práticas para gestão hídrica.
Unidade Hoteleira	O sistema de drenagem capta as águas pluviais da cobertura e as direciona para a galeria pública de drenagem pluvial. A coleta é realizada através de caixas sifonadas e tubulações de PVC, interligadas a caixas de passagem. O projeto necessita de revisão para atender à legislação local.	A captação das águas pluviais é feita através de valas de infiltração, com área de 80,00 m ² reservada para absorção e percolação, localizadas no pavimento subsolo. O sistema precisa ser monitorado para garantir sua eficiência e evitar obstruções.	O projeto está em desacordo com as normas vigentes, especialmente ao direcionar águas pluviais para a rede de esgoto, o que sobrecarrega o sistema público e compromete a sustentabilidade hídrica.
Corporativo de Saúde	A captação das águas pluviais será realizada a partir da cobertura, lajes técnicas, pavimentos garagem, estacionamento e pilotis, com caixas sifonadas e tubulações de PVC interligadas a caixas de passagem. As águas serão direcionadas para a galeria pública.	O sistema de recarga hidráulica capta as águas pluviais da cobertura e interliga-se aos poços absorventes no pavimento subsolo, sem permitir conexões com outros sistemas prediais.	O projeto está em conformidade com as normas de drenagem e recarga hidráulica, pois a segregação de águas pluviais está sendo corretamente atendida, evitando sobrecarga no sistema de esgoto.

Quadro 16: Soluções técnicas adotadas
Fonte: Autora, 2024

A aprovação dos projetos pela Prefeitura de Maceió, apesar das falhas evidentes, destaca a necessidade urgente de revisar o processo de fiscalização e implementação das normas de drenagem. A aprovação de projetos que não atendem integralmente aos requisitos estabelecidos pode gerar problemas significativos no futuro, tanto para a infraestrutura urbana quanto para os empreendedores responsáveis. Essas falhas podem resultar em impactos negativos na sustentabilidade hídrica, sobrecarga do sistema de drenagem pública e aumento do risco de alagamentos, comprometendo a eficiência dos sistemas de drenagem e recarga hidráulica.

Além disso, é necessário atualizar o Código de Edificações e Urbanismo de Maceió para garantir a aprovação adequada dos projetos relacionados à gestão das águas pluviais. A revisão deve ser acompanhada de uma fiscalização eficaz, assegurando que todos os projetos atendam integralmente às exigências legais, especialmente no que diz respeito à segregação das águas pluviais e servidas. Também é fundamental avaliar a capacidade do solo de Maceió para atender à taxa de permeabilidade estabelecida. Caso o solo não seja adequado, deve-se buscar novas soluções técnicas que atendam às necessidades de infiltração e recarga hidráulica. Somente com a atualização do Código, fiscalização rigorosa e análise detalhada do solo será possível garantir a eficácia dos sistemas de drenagem e recarga hidráulica, prevenindo problemas estruturais e ambientais no futuro.

CONCLUSÃO

O estudo sobre a pertinência da taxa de permeabilidade do solo exigida pelo Código de Edificações de Maceió, com base na análise das soluções técnicas propostas para os edifícios verticais da cidade, revela inconsistências quanto à conformidade dos projetos de drenagem apresentados. A pesquisa envolve a análise dos sete projetos, sendo que apenas o Edifício C e o Corporativo de Saúde demonstram atender adequadamente às exigências técnicas relacionadas ao sistema de drenagem e ao gerenciamento das águas pluviais.

Os projetos do Edifício C e o Corporativo de Saúde destacam-se por implementarem soluções eficientes de segregação entre as águas pluviais e servidas, além de adotarem medidas adequadas de recarga hidráulica. No entanto, a maioria dos projetos analisados (Edifícios A, B, D, E e Unidade Hoteleira) apresenta falhas substanciais, comprometendo a eficiência dos sistemas de drenagem e sobrecarregando a infraestrutura urbana de Maceió. A separação inadequada dos sistemas de drenagem é uma questão crítica, pois agrava problemas urbanos como poluição e alagamentos.

Para garantir a eficiência do sistema de drenagem, é necessário dimensionar os sistemas de acordo com as características do solo, a quantidade de precipitação e a capacidade de infiltração da água. Além disso, a promoção do reuso hídrico, sempre que possível, é essencial para otimizar a gestão das águas pluviais. No entanto, a prática de direcionar as águas pluviais para o sistema de esgoto impede que essas águas sejam reaproveitadas, contribuindo para a saturação do sistema de drenagem e intensificando os impactos negativos para a cidade.

A gestão das águas pluviais deve ser tratada como uma questão estratégica, não apenas pelo dimensionamento adequado dos sistemas de drenagem, mas também pelo incentivo ao uso sustentável da água. A impermeabilização do solo tem aumentado nas áreas urbanas, e o reuso das águas pluviais pode minimizar esse impacto, ao mesmo tempo em que contribui para a sustentabilidade ambiental. Os problemas encontrados nos projetos refletem a necessidade urgente de uma revisão das normas e práticas de drenagem no contexto urbano de Maceió, particularmente no que diz respeito à implementação da taxa de permeabilidade do solo e ao tratamento das águas pluviais.

A interligação inadequada entre as águas pluviais e servidas, observada na maioria dos projetos, representa uma das falhas mais graves. O direcionamento das águas pluviais para a rede de esgoto, sem a devida separação e sem o uso de sistemas de retenção ou infiltração adequados, não apenas compromete a eficiência dos sistemas de drenagem, mas também

contribui para o aumento da sobrecarga na rede de esgoto da cidade, aumentando o risco de alagamentos e prejudicando a sustentabilidade hídrica.

A separação inadequada dos sistemas de drenagem é uma questão crítica que, quando negligenciada, agrava problemas urbanos como a poluição e os alagamentos. Os sistemas de drenagem pluvial devem ser dimensionados de maneira a considerar as características do solo, a quantidade de precipitação e a capacidade de infiltração da água, além de promover o reuso hídrico sempre que possível. No entanto, a adoção de soluções paliativas, como o direcionamento das águas pluviais para o sistema de esgoto, impede que as águas da chuva sejam adequadamente reaproveitadas e contribui para a saturação do sistema de drenagem, intensificando os impactos negativos para a cidade.

A implementação dos sistemas de drenagem eficiente está relacionada com a manutenção de práticas de urbanismo sustentável, que envolvem a preservação da permeabilidade do solo, essencial para o controle das águas pluviais e a prevenção de problemas de enchentes. O Código de Edificações de Maceió exige uma taxa mínima de permeabilidade do solo em terrenos urbanos, com o objetivo de garantir que uma parte da água da chuva seja absorvida pelo solo, ao invés de ser direcionada diretamente para os sistemas de drenagem. Entretanto, como evidenciado na pesquisa, muitos projetos de edificações verticais não têm cumprido adequadamente essas exigências, o que reforça a necessidade de maior fiscalização e rigor na aplicação das normas.

Além disso, a análise da curva de retenção do solo de Maceió, elaborada com base nos dados fornecidos pelo laboratório de Recife e pelos relatórios de sondagem fornecidos pela AGM, proporciona uma visão mais clara sobre as condições de permeabilidade do solo nos diferentes bairros da cidade. Esses dados são essenciais para a melhoria das práticas de planejamento urbano, pois indicam onde o solo tem maior ou menor capacidade de absorver águas pluviais, o que deve ser levado em conta no desenvolvimento de novos projetos de construção. A falta desses dados pode resultar em soluções inadequadas de drenagem, prejudicando a sustentabilidade hídrica da cidade e aumentando os riscos de alagamentos e outros problemas relacionados à água.

A gestão das águas pluviais deve ser encarada como uma questão estratégica, que envolve não apenas o dimensionamento adequado dos sistemas de drenagem, mas também a promoção do uso sustentável da água. O reuso das águas pluviais é uma prática que, além de ajudar a reduzir a demanda sobre os sistemas públicos de abastecimento, também contribui para a preservação dos recursos hídricos, especialmente em áreas urbanas, onde a impermeabilização do solo tem aumentado significativamente nos últimos anos.

Portanto, é fundamental que a cidade de Maceió invista em soluções de drenagem que integrem a gestão das águas pluviais com o reuso hídrico, de forma a garantir a eficiência do sistema de drenagem e a preservação dos recursos naturais. Durante a pesquisa, foi realizada uma comparação entre os códigos de edificações e urbanismo das cidades de Maceió, Natal e Recife, o que permitiu identificar as diferenças nas abordagens de cada cidade em relação à drenagem e à gestão das águas pluviais.

A análise revelou que, enquanto Maceió tem regulamentações específicas para garantir a permeabilidade do solo, cidades como Recife, por exemplo, adotam práticas mais avançadas e tecnológicas, como sistemas de drenagem sustentável e pavimentos permeáveis, que poderiam ser incorporadas para melhorar a eficiência do sistema de drenagem de Maceió. Dessa forma, é essencial que a Prefeitura de Maceió, juntamente com os profissionais da área de engenharia e arquitetura, revise suas normas e busque implementar soluções inovadoras que atendam rigorosamente aos requisitos de drenagem e permeabilidade do solo, à medida que a cidade se adapta a novos desafios urbanos.

Por fim, a Prefeitura de Maceió deve aumentar a fiscalização dos projetos de drenagem e garantir o cumprimento rigoroso dos requisitos técnicos. Além disso, é importante que a população e os profissionais envolvidos no planejamento urbano compreendam a necessidade de adotar práticas sustentáveis na gestão das águas pluviais. A implementação de soluções adequadas de drenagem, o incentivo ao reuso hídrico e o cumprimento das normas de permeabilidade do solo são ações essenciais para o desenvolvimento sustentável da cidade, reduzindo os impactos ambientais e melhorando a qualidade de vida dos habitantes.

O estudo destaca a importância de um planejamento urbano mais integrado, que considere tanto os aspectos técnicos quanto ambientais da drenagem urbana. A gestão eficiente das águas pluviais, levando em conta a permeabilidade do solo, a segregação das águas pluviais e servidas, e o uso sustentável dos recursos hídricos, é fundamental para construir uma cidade mais resiliente, capaz de enfrentar os desafios trazidos pelas mudanças climáticas e pelo crescimento urbano acelerado.

A análise da drenagem urbana em Maceió e de seus sistemas relacionados à taxa de permeabilidade do solo revela que a gestão das águas pluviais é um componente essencial para o planejamento urbano sustentável da cidade. A drenagem eficiente é um dos pilares para garantir o controle de enchentes e alagamentos, problemas comuns em áreas urbanas densamente ocupadas, como ocorre em Maceió. Com a crescente impermeabilização do solo, torna-se necessário investir em soluções técnicas para gerenciar o fluxo de águas pluviais, promovendo sua infiltração no solo e seu aproveitamento sustentável. Isso envolve não só a

implementação de sistemas de drenagem convencionais, mas também o uso de tecnologias inovadoras para aproveitar a água da chuva de forma mais eficiente.

A evolução histórica dos sistemas de drenagem, tanto no Brasil quanto no contexto específico de Maceió, demonstra um crescente reconhecimento da importância de integrar soluções para o manejo das águas pluviais no planejamento urbano. Inicialmente, as cidades brasileiras focavam no controle da drenagem por meio de sistemas de esgoto pluvial, que visavam apenas a condução das águas para rios e corpos d'água, sem considerar seu potencial de reaproveitamento. Com o aumento da urbanização e a expansão das áreas impermeabilizadas, novos desafios surgiram. Isso levou à reavaliação das práticas de drenagem, com a introdução de soluções alternativas, como pavimentos permeáveis e cisternas para armazenamento de águas pluviais, que buscam, além de controlar as enchentes, promover o reuso da água.

A contribuição das normas brasileiras, como o Código de Edificações de Maceió é fundamental para regular a taxa de permeabilidade do solo em áreas urbanas. Essas regulamentações visam garantir que uma parte da água da chuva seja absorvida pelo solo, ao invés de ser rapidamente direcionada para os sistemas de esgoto. A taxa de permeabilidade, definida em metros quadrados de solo que podem absorver a água da chuva, é uma das principais ferramentas para garantir que as construções não sobrecarreguem os sistemas de drenagem e não contribuam para a formação de áreas suscetíveis a alagamentos. Contudo, a adequação das normas ainda precisa ser revisada, especialmente diante das novas demandas urbanísticas, como a verticalização crescente e o aumento da impermeabilização do solo.

Durante o estudo, foi possível comparar as soluções adotadas em Maceió com as implementadas em outras cidades brasileiras, como Recife e Natal, que apresentam abordagens mais avançadas no que diz respeito à gestão das águas pluviais. O estudo dessas cidades revelou práticas que podem servir de modelo para Maceió, como o uso de sistemas de drenagem sustentável (SDS), que promovem a retenção e infiltração da água da chuva no próprio terreno, minimizando o impacto sobre os sistemas públicos de drenagem e a rede de esgoto. A adoção de tecnologias como pavimentos permeáveis e o incentivo ao reuso das águas pluviais são soluções que devem ser incorporadas de maneira mais sistemática na cidade.

Além disso, a análise das características do solo de Maceió e a divisão das bacias hidrográficas da cidade são fundamentais para a elaboração de um plano de drenagem eficaz. A região de Maceió apresenta uma diversidade geológica, com solos argilosos em algumas áreas e arenosos em outras. Essa diferença no tipo de solo impacta diretamente na

permeabilidade, influenciando a capacidade do solo de absorver águas pluviais. As áreas com solo argiloso, por exemplo, apresentam menor infiltração, o que exige soluções técnicas mais específicas, como sistemas de retenção de água e drenagem subterrânea. Por outro lado, as áreas com solos arenosos, que possuem maior permeabilidade, permitem a adoção de soluções mais simples, como a criação de áreas de infiltração.

Outro ponto relevante abordado pela pesquisa foi a elaboração da curva de retenção do solo de Maceió, a partir dos dados fornecidos pelo laboratório de Recife. A curva de retenção permite entender a quantidade de água que o solo é capaz de reter de acordo com diferentes pressões. Esse dado é essencial para projetar soluções de drenagem que atendam às características específicas de cada área da cidade. Além disso, o estudo das bacias hidrográficas, como a do Rio Mundaú, a bacia de drenagem Sudeste do Oceano Atlântico e a do Riacho das Águas Férreas, possibilitou identificar os pontos críticos da cidade, onde a sobrecarga nos sistemas de drenagem pode gerar problemas de alagamentos. Essa análise, associada à curva de retenção, permite prever o comportamento das águas pluviais e planejar soluções mais eficientes para a drenagem urbana.

A importância da gestão das águas pluviais vai além do controle de enchentes; ela também está diretamente ligada à sustentabilidade urbana. O reuso hídrico, por exemplo, é uma estratégia fundamental para garantir a eficiência do uso da água em Maceió. Ao implementar sistemas de captação de águas pluviais em edifícios, além de reduzir a pressão sobre os sistemas de abastecimento público de água, contribui-se para o equilíbrio ambiental da cidade. Além disso, a adoção de soluções sustentáveis na drenagem das águas pluviais também auxilia na redução da poluição nos corpos d'água, promovendo a qualidade ambiental e a saúde pública.

A implementação de sistemas de drenagem eficientes, que integrem a segregação adequada entre águas pluviais e servidas, o reuso hídrico e a preservação da permeabilidade do solo, é uma tarefa complexa, mas essencial para o futuro de Maceió. A revisão das normas e o fortalecimento da fiscalização, com foco na conformidade dos projetos de drenagem, são passos necessários para garantir que a cidade enfrente de forma eficaz os desafios impostos pela urbanização e pelas mudanças climáticas. A colaboração entre os profissionais da área de engenharia, urbanismo e a administração pública é fundamental para alcançar um planejamento urbano mais integrado e sustentável, que promova a resiliência da cidade e a qualidade de vida dos seus habitantes.

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A.** Aproveitamento de águas pluviais e sua relação com a gestão de manutenção predial. *Revista de Engenharia Ambiental*, v. 9, n. 2, p. 85-94, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 15527:2007: Aproveitamento de águas pluviais de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- _____. **NBR 7181:2016:** Análise granulométrica de solos – Determinação da distribuição granulométrica das partículas do solo. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- _____. **NBR 13969:1997:** Sistemas de drenagem – Ensaio de infiltração e percolação em solos – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- _____. **NBR 10844:1989:** Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.
- _____. **NBR 10843:1989:** Aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS.** *Bacias de drenagem de Maceió: mapa das bacias hidrográficas.* Brasília: ANA, 2011.
- AZEVEDO, L. S.** O legado do modelo Haussmanniano na reconfiguração urbana brasileira. *Revista Brasileira de Urbanismo*, v. 23, n. 2, p. 45-58, 2021.
- BAI, X.** et al. Six research priorities for cities and climate change. *Nature Climate Change*, v. 8, n. 1, p. 23-25, 2018.
- BALLARD, M.; HINMAN, C.; BROWN, R.** *SuDS management: a comprehensive guide to sustainable urban drainage systems.* London: IWA Publishing, 2007.
- BATISTA, M. B.** et al. Avaliação da capacidade de drenagem urbana de um loteamento na cidade de Maringá - PR. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 7, n. 2, p. 16-28, 2015.
- BAHIA, J. A.** Planejamento urbano e índices de permeabilidade do solo: conceitos e aplicações. *Revista de Engenharia Urbana*, v. 12, n. 3, p. 45-58, 2016.
- BEAR, J.** *Dynamics of fluids in porous media.* New York: American Elsevier, 1972.
- BORTOLUZZI, S. C.** et al. A avaliação de desempenho em redes de pequenas e médias empresas: estado da arte para as delimitações postas pelo pesquisador. *Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios*, v. 4, n. 2, p. 202-222, 2011. Disponível em: <http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/EeN/article/view/763>. Acesso em: 10 abr. 2023.

- BEZERRA, M. L. F. D.** Taxa de (im)permeabilidade urbana intra-lote: um olhar sob a legislação. *Revista Campo do Saber*, v. 1, n. 2, 2015.
- BRASIL.** Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico. *Diário Oficial da União*, seção 1, Brasília, DF, n. 5, p. 3, 8 jan. 2007.
- BRASIL.** Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, seção 1, Brasília, DF, p. 1, 11 jul. 2001.
- BRASIL.** Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. *Diário Oficial da União*, seção 1, Brasília, DF, p. 1, 16 jul. 2020.
- BROWN, R.; KEATH, N.; WONG, T. H. F.** Urban water management: optimizing the allocation of the urban water balance. *Water Science and Technology*, v. 59, n. 5, p. 885-894, 2009.
- CAVALCANTE, M. R. C.** Permeabilidade do revestimento do solo intralotes e qualidade térmica microclimática no contexto de Maceió-AL. 2019. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.
- CHOW, V. T.** Handbook of applied hydrology. New York: McGraw-Hill, 1994.
- CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPÇÃO, R. S. F. V.; KLIGERMAN, D. C.** A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. *Saúde em Debate*, v. 43, p. 94-108, 2020.
- CORREIA, L. M. A. M.** et al. Análise dos investimentos em sistemas de aproveitamento de água pluvial nas cidades do sertão alagoano. 2019.
- DA SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C.** Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, p. 108-114, 2007.
- DAS, B. M.** Principles of geotechnical engineering. Belmont: Cengage Learning, 2006.
- ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; PACHECO, G. C.** Um estudo sobre segurança em estádios de futebol baseado na análise da literatura internacional. *Perspectivas em Ciência da Informação*, v. 17, n. 2, p. 71-91, 2012.
- EMBRAPA.** Câmara de pressão de Richard: manual de operação e manutenção. Brasília: 2007.

- FEO, C. L.** Urban drainage and water management: past, present and future. *Journal of Water and Environment Technology*, v. 12, n. 3, p. 145-158, 2014.
- FLETCHER, T. D.** et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, v. 13, n. 4, p. 315-339, 2016.
- GHISI, E.; MONTIBELLER, A.; SCHMIDT, R. W.** Potential for potable water savings by using rainwater: an analysis over 62 cities in southern Brazil. *Building and Environment*, v. 41, n. 2, p. 204-210, 2006.
- IBGE.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Áreas urbanizadas do Brasil: dados sobre a população urbana em 2015. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.
- LANDSBERG, H. E.** The urban climate. *International Geophysics Series*, v. 28. New York: Academic Press, 1981. 227 p.
- LANVERLY, L. C. S.** Acessibilidade em espaços públicos: o caso do centro de Maceió. 2010.
- LÔBO, M. L. L.** A gota d'água: a ocupação intralote na planície litorânea da cidade de Maceió - AL e o manejo das águas pluviais. 2018. 130 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.
- LOURENÇO, R. R. A.** Sistemas urbanos de drenagem sustentáveis. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil – Construção Urbana) – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra, 2014.
- MACEIÓ.** *Código de Urbanismo e Edificações de Maceió: Lei Municipal nº 5.593, de 08 de fevereiro de 2007.* Institui o Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió, estabelece o zoneamento da cidade e dá outras providências. Câmara Municipal de Maceió, Maceió, AL, 2007.
- MACEIÓ.** *Documento de Informações Básicas (DIB).* Produto 5. Volume 2. Maceió: Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM), Área de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente (DUMA), Prefeitura Municipal de Maceió, 2005a.
- MACEIÓ.** *Plano de Desenvolvimento de Maceió: diagnóstico e prognóstico.* Volume I. Coordenação Municipal de Planejamento (COPLAN), Maceió, AL, 1981.
- MACEIÓ.** *Revisão do Plano Diretor de Maceió: caderno técnico – audiência pública.* 2016. Disponível em: <http://www.maceio.al.gov.br>. Acesso em: 22 dez. 2023.

- MANER, E. E.** Historical development of drainage systems. *Journal of Water Management*, v. 23, n. 3, p. 45-58, 1996.
- MATOS, J.** Ambiente e saneamento – sistemas de drenagem urbana. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2003a.
- MAYS, L. W.; TUNG, Y. K.; ZHANG, C.** Sustainable stormwater management technologies. In: MAYS, L. W. *Sustainable Stormwater Management*. Cham: Springer, 2019. p. 115-132.
- MELLO-THÉRY, N. A.** Conservação de áreas naturais em São Paulo. *Estudos Avançados*, v. 25, n. 71, p. 175-188, 2011.
- MENEZES, L. P.** Determinação da curva de retenção de água em solos utilizando bomba de fluxo. 2013. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.
- MOTA, É.** Projeto técnico: pavimentos permeáveis. Programa de soluções para a cidade. São Paulo: ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, 2013. Disponível em: <<http://www.solucoesparacidades.com.br>>. Acesso em: out. 2023.
- MURTHA, M.** et al. *Chafarizes e o abastecimento de água no Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Edições Pinakothke, 2015.
- NATAL (Município).** Código de Obras e Edificações do Município de Natal. Lei complementar nº 055, 2004. 34 p.
- NEVES, J. L.** Pesquisa qualitativa: características, usos e possibilidades. *Caderno de Pesquisas em Administração*, São Paulo, v. 1, n. 3, p. 1-5, 1996.
- OKE, T. R.** Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, v. 11, n. 1-3, p. 103-113, 1988.
- OLIVEIRA, V. I. P. S.** A integração das redes hidrográficas e pluviais no ciclo urbano da água: problemas, perspectivas, implicações e soluções. 2006. [Tipo de trabalho e instituição não informados – posso complementar se você indicar].
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU).** *Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/2030agenda>>. Acesso em: 20 set. 2013.
- PACHECO, G. C. R.; ALVES, C. M. A.** The influence of deep uncertainties in the design and performance of residential rainwater harvesting systems. *Water Resources Management*, v. 37, n. 4, p. 1499-1517, 2023.
- PAZ, M. G. A. da** et al. Os conflitos das políticas da água e do esgotamento sanitário: que universalização buscamos? *Estudos Avançados*, v. 35, n. 102, p. 193-208, 2021.

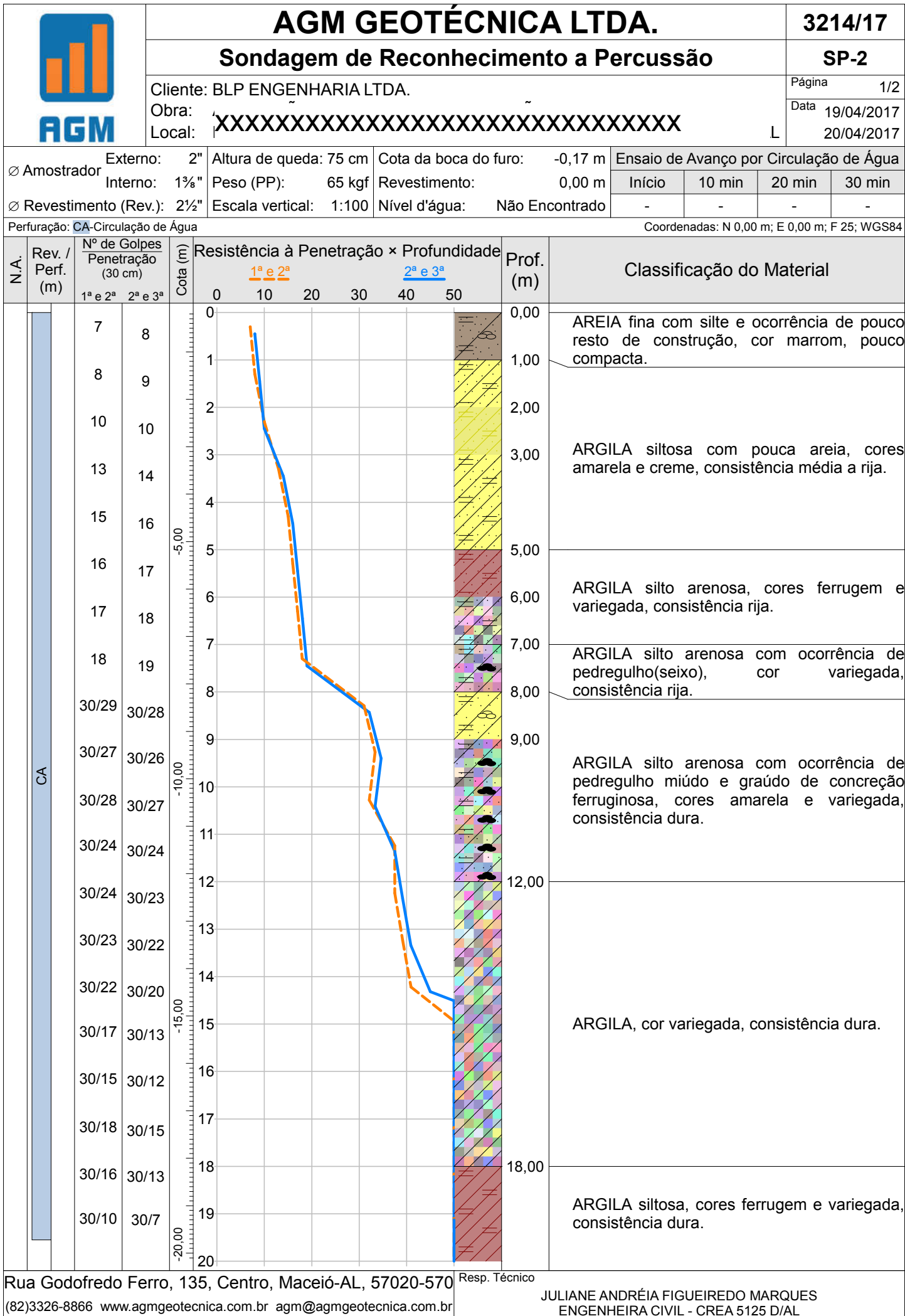
- PHILIP, S.** *Principles of urban stormwater management with hydraulic examples*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.
- PINTO, J.; FARIA, L.** Técnicas de manejo de águas pluviais: impactos ambientais e soluções alternativas. *Revista de Engenharia e Sustentabilidade*, v. 10, n. 3, p. 45-58, 2015.
- PIRES, L. F.; BACCHI, O. O. S.; CENTENÁRIO, A. V.** Determinação da curva de retenção da água no solo com auxílio da transmissão de raios gama. In: *National Meeting on Nuclear Applications*, 6., 2002, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: [s.n.], 2002.
- PRINCE, A. E.; DYSON, M.; REED, D. W.** *Urban hydrology: hydraulics and stormwater quality*. Hoboken: John Wiley & Sons, 1999.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE MACEIÓ.** *Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Maceió/AL – Fase II: Relatório Final*. Maceió: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente (SEDET), 2018.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE MACEIÓ.** *Projeto de Drenagem Urbana de Maceió*. Maceió: Secretaria Municipal de Infraestrutura (Seminfra), 2023. Disponível em: <<https://maceio.al.gov.br/noticias/seminfrasemurb.maceio.al.gov.br>>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- RECIFE (Município).** Código de Obras e Edificações do Município de Recife. Lei nº 16.292/97. 2012. 103 p.
- REIS, N.; RODRIGUES, M.; MOURA, J. P.; MORGADO, F.** Perspectivas dos sistemas de infiltração prediais de águas pluviais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 24, 2019.
- RIGHETTO, A. M.** *Manejo de águas pluviais urbanas*. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: Editora ABES, 2009. 37 p.
- SABESP.** *Gestão das águas urbanas: ações para minimizar as inundações na cidade de São Paulo*. São Paulo: Sabesp, 2020. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=533>>. Acesso em: jan. 2024.
- SANTOS, L. B. dos.** Trilhas da política ambiental. *Ambiente & Sociedade*, v. 12, n. 1, p. 133-150, jun. 2009.
- SILVEIRA, R.** Sustentabilidade urbana: aspectos ecológicos, sociais e econômicos. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 2, n. 1, p. 78-92, 1998.
- SILVA, J. R.** Caracterização dos solos urbanos de Maceió: um estudo sobre a permeabilidade e tipos de solo nos bairros litorâneos e de altitude. *Revista Brasileira de Geotecnologia*, v. 15, n. 2, p. 32-45, 2023.

- SNIS-AP.** *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Águas Pluviais*. 2019. Disponível em: <<https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>>. Acesso em: 8 jan. 2024.
- SOMEKH, N.** *A cidade vertical e o urbanismo modernizador*. São Paulo: Edusp, 1997.
- TOMAZ, P.** *Curso de manejo de águas pluviais*. 2010. Disponível em: <<http://www.pliniotomaz.com.br>>. Acesso em: 16 nov. 2023.
- TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C.** *Inundações urbanas na América do Sul*. [S.l.]: Ed. dos Autores, 2003.
- VAN GENUCHTEN, M. Th.** A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.
- VILLAÇA, F.** Uma contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil. In: DEÁK, Csaba; SCHIFFER, Sueli Ramos (org.). *O processo de urbanização no Brasil*. São Paulo: EdUSP, 1999. p. 169-243.
- ZACARIAS, P. R. V.; RIBEIRO, R. J. da C.** Análise da legislação urbanística no processo de verticalização do bairro da Ponta Verde, Maceió - AL (1985-2015). In: *Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável: Contrastes, Contradições e Complexidades – PLURIS*, 2016.

		AGM GEOTÉCNICA LTDA.				3214/17								
		Sondagem de Reconhecimento a Percussão				SP-1								
		Cliente: BLP ENGENHARIA LTDA. Obra: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX Local: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX				Página 1/2 Data 28/04/2017 02/05/2017								
Ø Amostrador Externo: 2" Interno: 1 1/2" Ø Revestimento (Rev.): 2 1/2"	Altura de queda: 75 cm Peso (PP): 65 kgf Escala vertical: 1:100	Cota da boca do furo: 0,56 m Revestimento: 0,00 m Nível d'água: Não Encontrado	Ensaio de Avanço por Circulação de Água											
			<table border="1"> <tr> <th>Início</th> <th>10 min</th> <th>20 min</th> <th>30 min</th> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </table>				Início	10 min	20 min	30 min	-	-	-	-
Início	10 min	20 min	30 min											
-	-	-	-											
Perfuração: CA - Circulação de Água			Coordenadas: N 0,00 m; E 0,00 m; F 25; WGS84											
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)	Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade		Prof. (m)	Classificação do Material							
		1ª e 2ª	2ª e 3ª	0	10 20 30 40 50									
CA		7	9	0,00		0,00	AREIA fina com silte e pouca ocorrência de pedregulho(seixo), cor amarela, medianamente compacta.							
		9	10	1,00		1,00	ARGILA silto arenosa, cor cinza escura, consistência média.							
		7	9	2,00		2,00	ARGILA siltosa com pouca areia, cor amarela, consistência média.							
		7	6	3,00		3,00								
		6	6	4,00		4,00								
		7	6	5,00		5,00	ARGILA areno siltosa, cor ferrugem, consistência média a rija.							
		9	11	6,00		6,00								
		11	12	7,00		7,00								
		12	15	8,00		8,00	ARGILA areno siltosa com ocorrência de concreção ferruginosa, cor ferrugem, consistência rija.							
		13	12	9,00		9,00	ARGILA silto arenosa com pouca ocorrência de pedregulho(seixo), cor ferrugem, consistência rija.							
		17	18	10,00		10,00								
		12	14	11,00		11,00								
		23	22	12,00		12,00								
		26	29	13,00		13,00	AREIA silto argilosa, cor ferrugem, compacta a muito compacta.							
		28/29	30/27	14,00		14,00								
		30/27	30/25	15,00		15,00								
		30/21	30/20	16,00		16,00								
		30/16	30/15	17,00		17,00	ARGILA arenosa com silte, cor variegada, consistência dura.							
		30/19	30/17	18,00		18,00	ARGILA, cor variegada, consistência dura.							
	30/19	30/17	19,00		19,00									
			20,00		20,00									

	AGM GEOTÉCNICA LTDA.						3214/17			
	Sondagem de Reconhecimento a Percussão						SP-1			
	Cliente: BLP ENGENHARIA LTDA.						Página 2/2			
Obra: XX						Data 28/04/0217				
Local: XX						02/05/2017				
Ø Amostrador		Externo: 2"	Altura de queda: 75 cm	Cota da boca do furo: 0,56 m	Ensaio de Avanço por Circulação de Água					
		Interno: 1 3/8"	Peso (PP): 65 kgf	Revestimento: 0,00 m	Início	10 min	20 min	30 min		
Ø Revestimento (Rev.): 2 1/2"		Escala vertical: 1:100	Nível d'água: Não Encontrado		-	-	-	-		
Perfuração: CA-Circulação de Água					Coordenadas: N 0,00 m; E 0,00 m; F 25; WGS84					
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)	Resistência à Penetração × Profundidade		Prof. (m)	Classificação do Material				
		1ª e 2ª 2ª e 3ª	0 10 20 30 40 50							
CA	25,17	30/17	30/15	20		24,00	ARGILA, cor variegada, consistência dura.			
		30/17	30/13	21						
		30/17	30/15	22						
		30/16	30/17	23						
		30/14	30/13	24						
		30/13	30/10	25						
							26			
							27			
							28			
							29			
							30			
							31			
			32							
			33							
			34							
			35							
			36							
			37							
			38							
			39							
			40							
Rua Godofredo Ferro, 135, Centro, Maceió-AL, 57020-570						Resp. Técnico				
(82)3326-8866 www.agmgeotecnica.com.br agm@agmgeotecnica.com.br						JULIANE ANDRÉIA FIGUEIREDO MARQUES ENGENHEIRA CIVIL - CREA 5125 D/AL				

CONFORME NBR 6484:2001





AGM GEOTÉCNICA LTDA.

3214/17

Sondagem de Reconhecimento a Percussão

SP-3

Cliente: BLP ENGENHARIA LTDA.

Página 1/2

Obra:

Data 17/04/2017

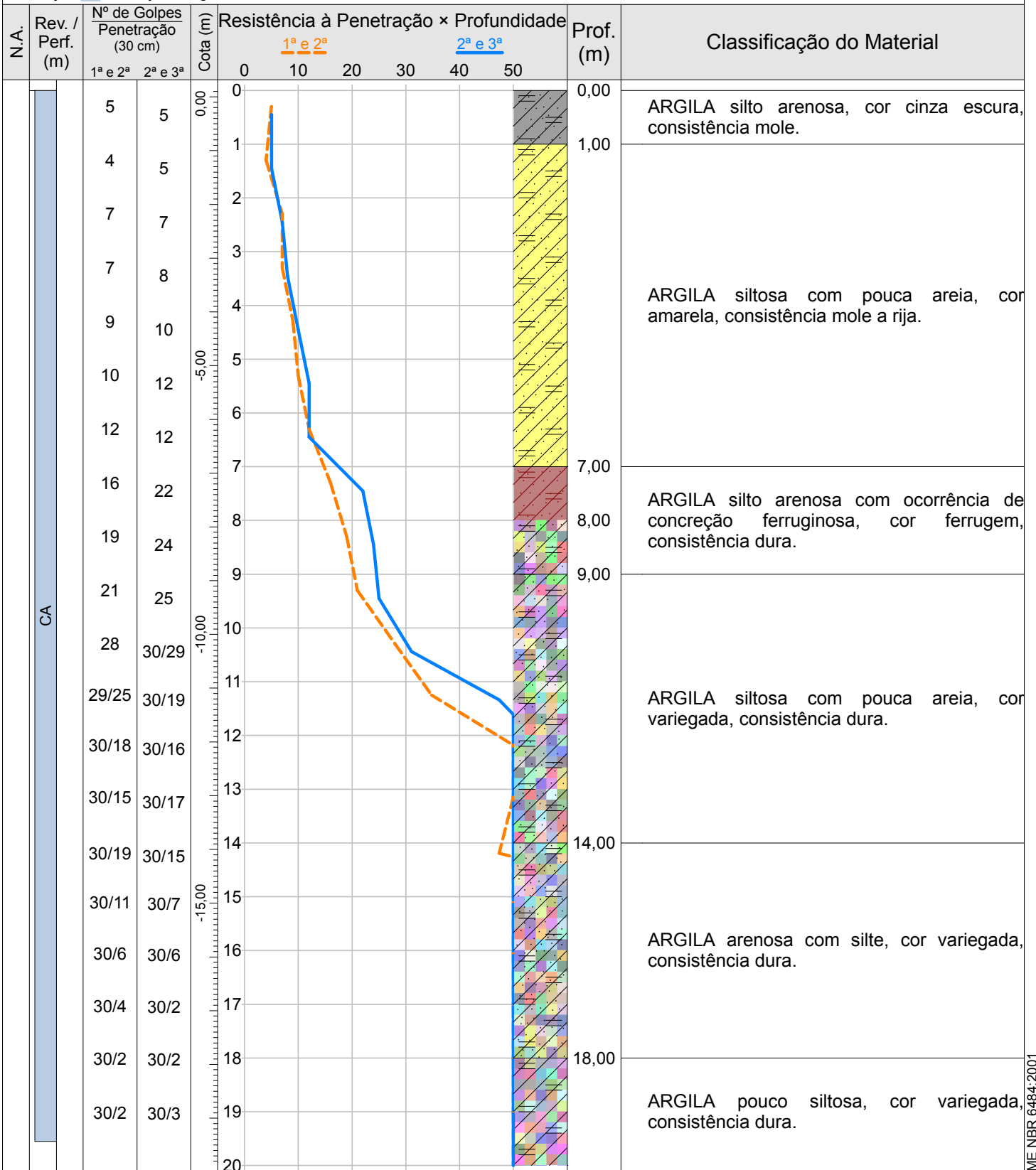
Local:

18/04/2017

Externo: 2"	Altura de queda: 75 cm	Cota da boca do furo: 0,12 m	Ensaio de Avanço por Circulação de Água			
Interno: 1 3/8"	Peso (PP): 65 kgf	Revestimento: 0,00 m	Início	10 min	20 min	30 min
Revestimento (Rev.): 2 1/2"	Escala vertical: 1:100	Nível d'água: Não Encontrado	-	-	-	-

Perfuração: CA-Circulação de Água

Coordenadas: N 0,00 m; E 0,00 m; F 25; WGS84



	AGM GEOTÉCNICA LTDA.						3214/17	
	Sondagem de Reconhecimento a Percussão						SP-3	
	Cliente: BLP ENGENHARIA LTDA.						Página 2/2	
Obra: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX						Data 17/04/2017		
Local: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX						AL 18/04/2017		
Ø Amostrador		Externo: 2"	Altura de queda: 75 cm	Cota da boca do furo: 0,12 m	Ensaio de Avanço por Circulação de Água			
		Interno: 1 3/8"	Peso (PP): 65 kgf	Revestimento: 0,00 m	Início	10 min	20 min	30 min
Ø Revestimento (Rev.): 2 1/2"		Escala vertical: 1:100	Nível d'água: Não Encontrado		-	-	-	-
Perfuração: CA-Circulação de Água					Coordenadas: N 0,00 m; E 0,00 m; F 25; WGS84			
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)	Resistência à Penetração × Profundidade		Prof. (m)	Classificação do Material		
		1ª e 2ª 2ª e 3ª	0 10 20 30 40 50					
	CA	30/2 30/2	20			ARGILA pouco siltosa, cor variegada, consistência dura.		
		30/2 30/2	21					
		30/2 30/2	22					
		30/2 30/2	23					
		30/2 30/2	24					
	25,03	30/2 30/2	25		25,03	Obs.: Até a profundidade sondada não foi encontrado água.		
			26					
			27					
			28					
			29					
			30					
			31					
			32					
			33					
			34					
			35					
			36					
			37					
			38					
			39					
			40					

Rua Godofredo Ferro, 135, Centro, Maceió-AL, 57020-570
(82)3326-8866 www.agmgeotecnica.com.br agm@agmgeotecnica.com.br

Resp. Técnico
JULIANE ANDRÉIA FIGUEIREDO MARQUES
ENGENHEIRA CIVIL - CREA 5125 D/AL

CONFORME NBR 6484:2001



AGM GEOTÉCNICA LTDA.

3214/17

Sondagem de Reconhecimento a Percussão

SP-4

Cliente: BLP ENGENHARIA LTDA.

Página 1/2

Obra:

Data 24/04/2017

Local:

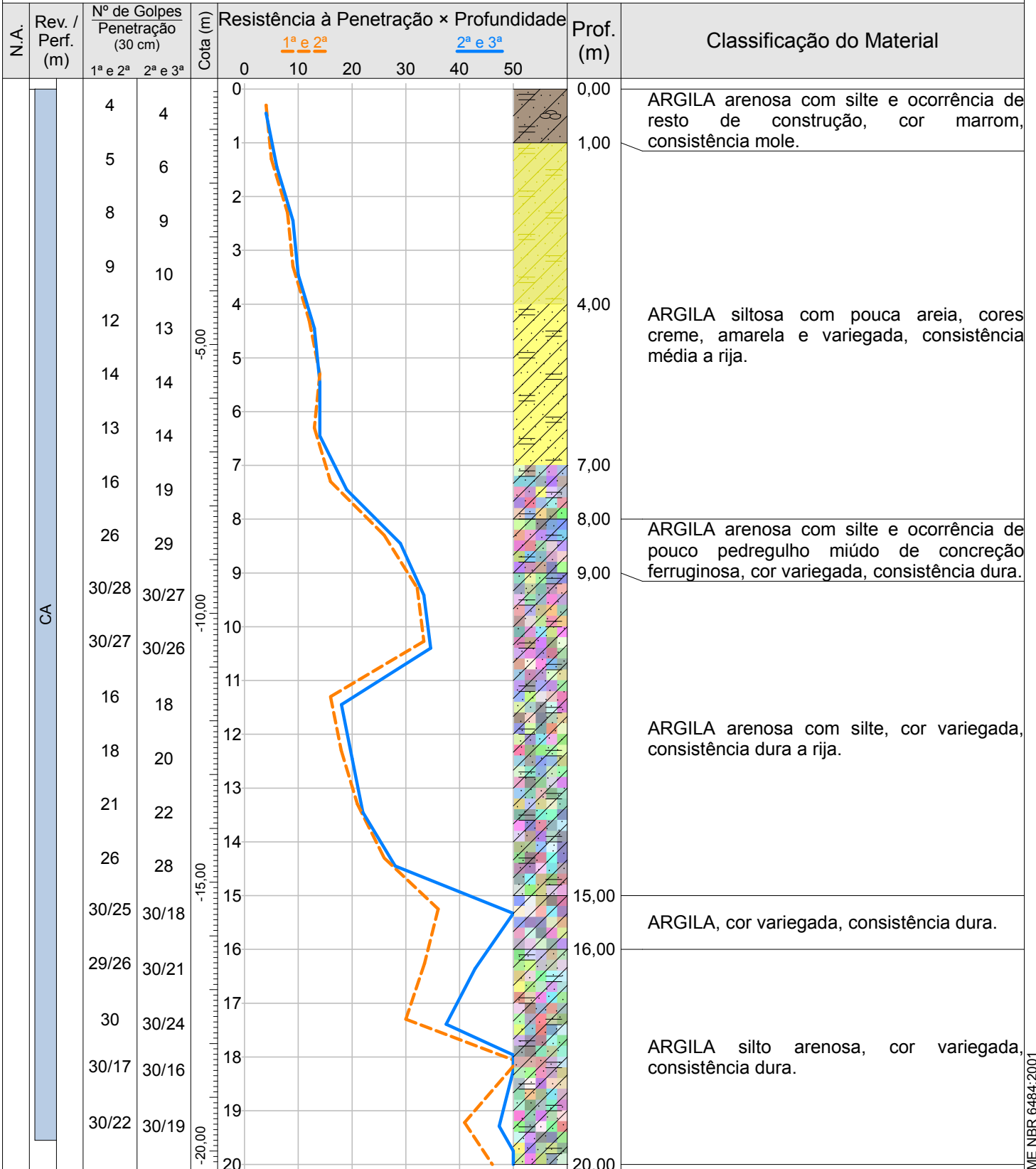
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

25/04/2017

Externo: 2"	Altura de queda: 75 cm	Cota da boca do furo: -0,25 m	Ensaio de Avanço por Circulação de Água			
Interno: 1 3/8"	Peso (PP): 65 kgf	Revestimento: 0,00 m	Início	10 min	20 min	30 min
Revestimento (Rev.): 2 1/2"	Escala vertical: 1:100	Nível d'água: Não Encontrado	-	-	-	-

Perfuração: CA-Circulação de Água

Coordenadas: N 0,00 m; E 0,00 m; F 25; WGS84



Rua Godofredo Ferro, 135, Centro, Maceió-AL, 57020-570

(82)3326-8866 www.agmgeotecnica.com.br agm@agmgeotecnica.com.br

Resp. Técnico

JULIANE ANDRÉIA FIGUEIREDO MARQUES
ENGENHEIRA CIVIL - CREA 5125 D/AL

CONFORME NBR 6484:2001

		AGM GEOTÉCNICA LTDA.					3214/17						
		Sondagem de Reconhecimento a Percussão					SP-4						
		Cliente: BLP ENGENHARIA LTDA.					Página 2/2						
		Obra: XX					Data 24/04/2017						
		Local: XX					AL 25/04/2017						
Ø Amostrador		Externo: 2"	Altura de queda: 75 cm	Cota da boca do furo: -0,25 m	Ensaio de Avanço por Circulação de Água								
		Interno: 1 3/8"	Peso (PP): 65 kgf	Revestimento: 0,00 m	Início	10 min	20 min	30 min					
Ø Revestimento (Rev.): 2 1/2"		Escala vertical: 1:100	Nível d'água: Não Encontrado		-	-	-	-					
Perfuração: CA-Circulação de Água					Coordenadas: N 0,00 m; E 0,00 m; F 25; WGS84								
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Cota (m)	Resistência à Penetração × Profundidade					Prof. (m)	Classificação do Material		
		1ª e 2ª	2ª e 3ª										
					0	10	20	30	40	50			
CA	25,11	30/19	30/17	20							20,00	AREIA silto argilosa com ocorrência de pedregulho miúdo e grão de concreção ferruginosa e pouco pedregulho(seixo), cor variegada	
		30/24	30/17	21									
		30/19	30/16	22							22,00	AREIA silto argilosa com pouca ocorrência de pedregulho(seixo), cor variegada, muito compacta.	
		30/16	30/16	23							23,00		
		30/11	30/10	24								AREIA silto argilosa com ocorrência de pedregulho miúdo e grão de concreção ferruginosa, cor ferrugem, muito compacta.	
		30/7	30/8	25							25,00	AREIA silto argilosa com pouca ocorrência de pedregulho(seixo), cor variegada, muito compacta.	
				25,11							25,11	Obs.: Até a profundidade sondada não foi encontrado água.	



AGM GEOTÉCNICA LTDA.

3214/17

Sondagem de Reconhecimento a Percussão

SP-5

Cliente: BLP ENGENHARIA LTDA.

Página 1/2

Obra:

Data 26/04/2017

Local:

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

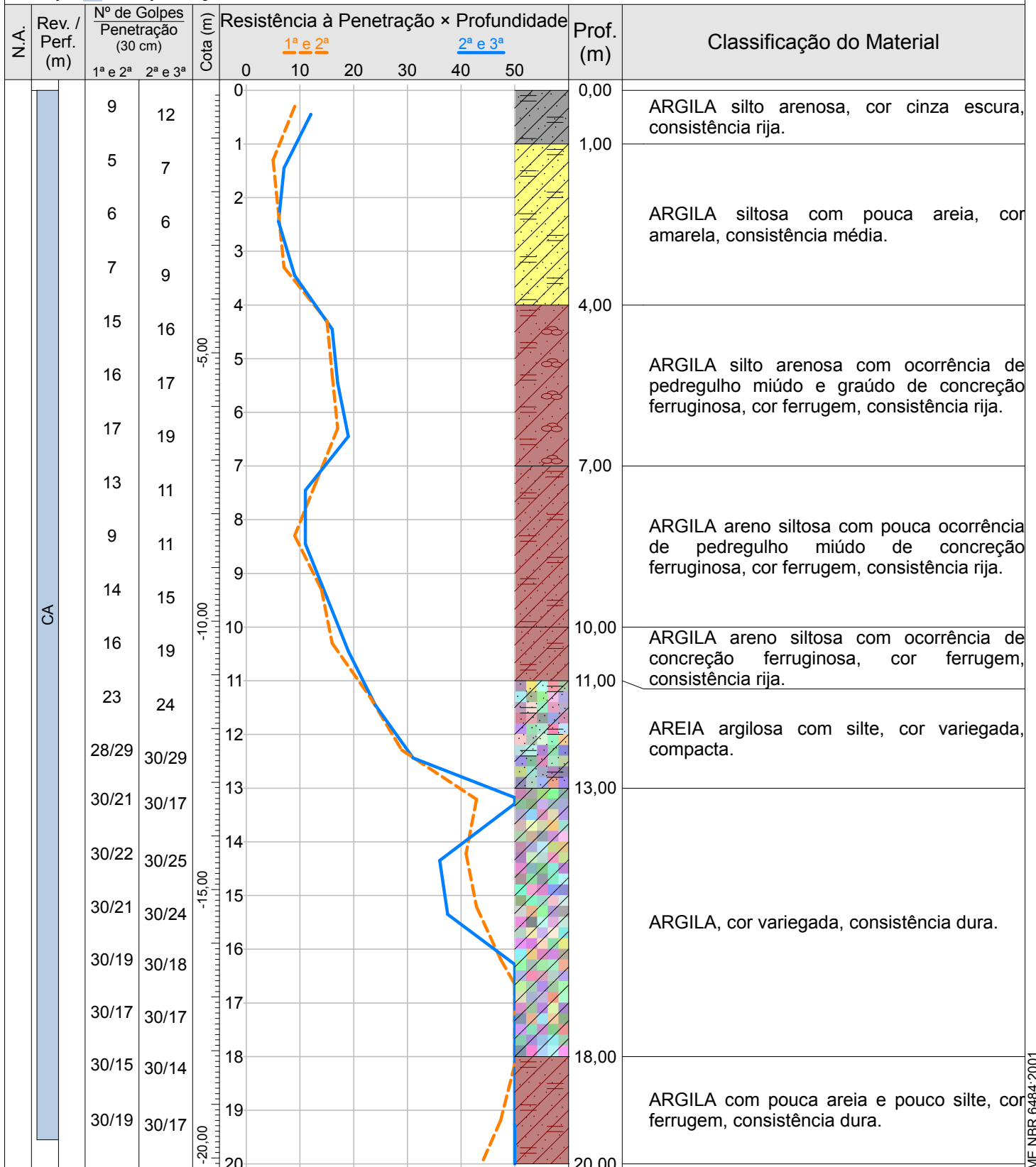
L

27/04/2017

Externo: 2"	Altura de queda: 75 cm	Cota da boca do furo: -0,11 m	Ensaio de Avanço por Circulação de Água			
Interno: 1 3/8"	Peso (PP): 65 kgf	Revestimento: 0,00 m	Início	10 min	20 min	30 min
Revestimento (Rev.): 2 1/2"	Escala vertical: 1:100	Nível d'água: Não Encontrado	-	-	-	-

Perfuração: CA-Circulação de Água

Coordenadas: N 0,00 m; E 0,00 m; F 25; WGS84



Sondagem de Reconhecimento a Percussão

SP-5

Cliente: BLP ENGENHARIA LTDA.

Página 2/2

Obra:

Data	26/04/2017
------	------------

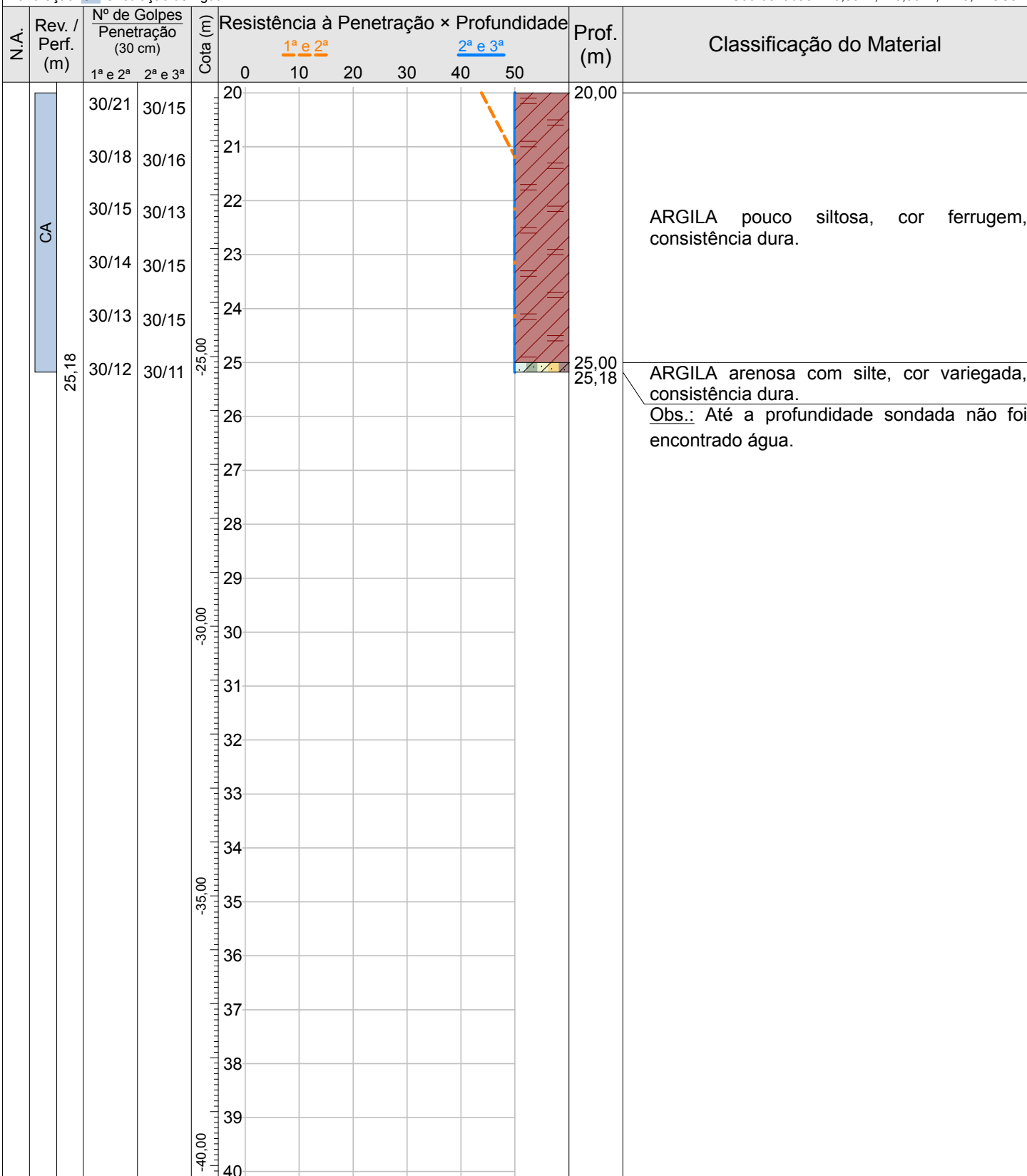
Local:

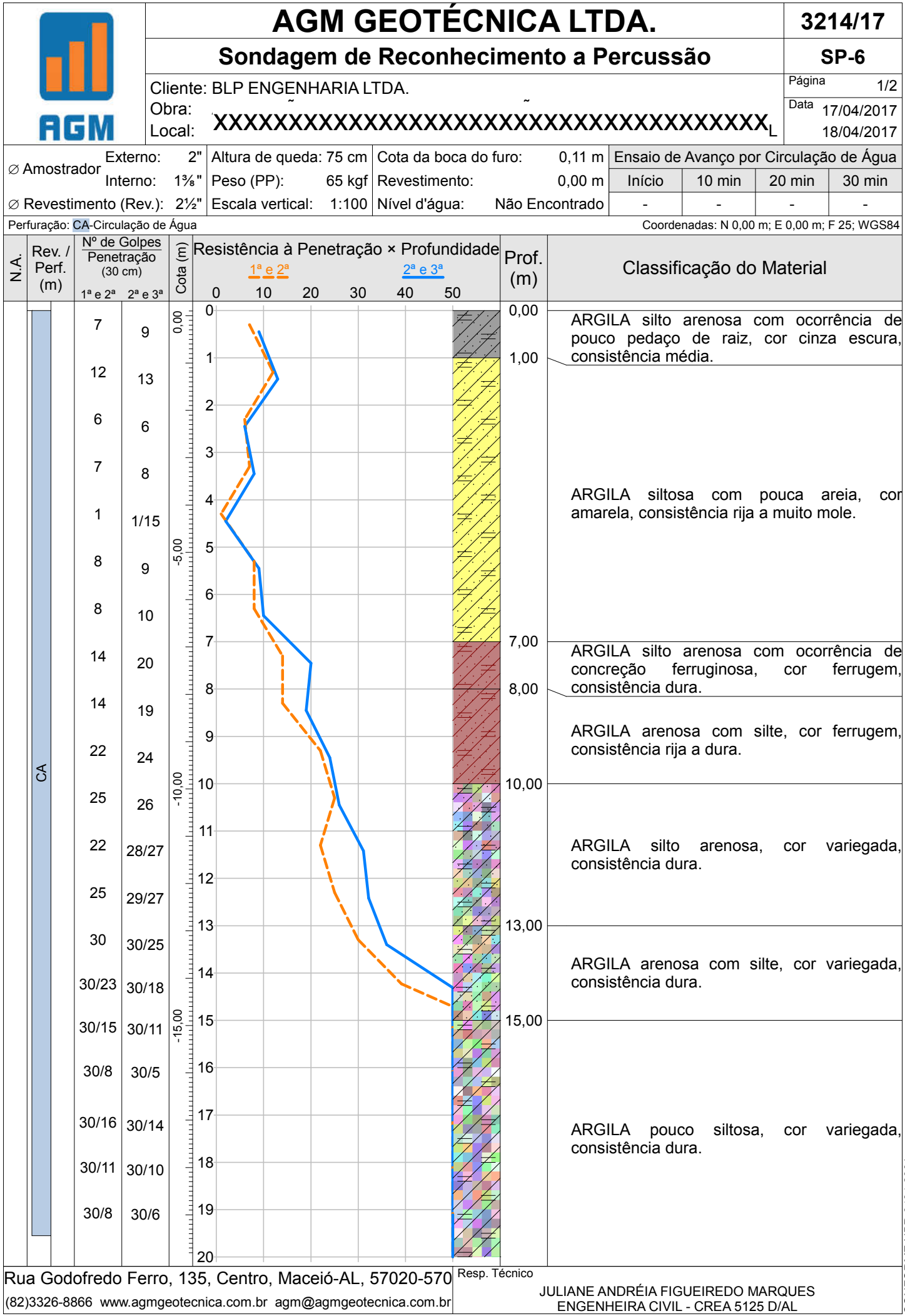
27/04/2017

Ø Amostrador	Externo: 2"	Altura de queda: 75 cm	Cota da boca do furo: -0,11 m	Ensaio de Avanço por Circulação de Água			
	Interno: 1⅜"	Peso (PP): 65 kgf	Revestimento: 0,00 m	Início	10 min	20 min	30 min
Ø Revestimento (Rev.): 2½"	Escala vertical: 1:100	Nível d'água: Não Encontrado		-	-	-	-

Perfuração: CA-Circulação de Água

Coordenadas: N 0.00 m: E 0.00 m: F 25: WGS84





	AGM GEOTÉCNICA LTDA.						3214/17	
	Sondagem de Reconhecimento a Percussão						SP-6	
	Cliente: BLP ENGENHARIA LTDA.						Página 2/2	
Obra: XX						Data 17/04/2017		
Local: XX						AL 18/04/2017		
Ø Amostrador		Externo: 2"	Altura de queda: 75 cm	Cota da boca do furo: 0,11 m	Ensaio de Avanço por Circulação de Água			
		Interno: 1 3/8"	Peso (PP): 65 kgf	Revestimento: 0,00 m	Início	10 min	20 min	30 min
Ø Revestimento (Rev.): 2 1/2"		Escala vertical: 1:100	Nível d'água: Não Encontrado		-	-	-	-
Perfuração: CA-Circulação de Água					Coordenadas: N 0,00 m; E 0,00 m; F 25; WGS84			
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Nº de Golpes Penetração (30 cm)	Resistência à Penetração × Profundidade		Prof. (m)	Classificação do Material		
		1ª e 2ª 2ª e 3ª	0 10 20 30 40 50					
	CA	30/5	30/4	20	25,03	ARGILA pouco siltosa, cor variegada, consistência dura.		
		30/6	30/3	21				
		30/5	30/3	22				
		30/5	30/4	23				
		30/5	30/3	24				
		30/2	30/2	25				
						Obs.: Até a profundidade sondada não foi encontrado água.		

Rua Godofredo Ferro, 135, Centro, Maceió-AL, 57020-570

(82)3326-8866 www.agmgeotecnica.com.br agm@agmgeotecnica.com.br

Resp. Técnico

JULIANE ANDRÉIA FIGUEIREDO MARQUES

ENGENHEIRA CIVIL - CREA 5125 D/AL

CONFORME NBR 6484:2001