



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

RAUL FELIPE ROCHA DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DO PLANO SISTEMATIZADO E ATRIBUTOS FÍSICOS DO
SOLO DO GRAMADO DA ARENA CASTELÃO EM FORTALEZA-CE.**

FORTALEZA

2025

RAUL FELIPE ROCHA DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DO PLANO SISTEMATIZADO E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO
DO GRAMADO DA ARENA CASTELÃO EM FORTALEZA-CE.

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Graduação
em Agronomia do Centro de Ciências
Agrárias da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo. Orientador:

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora
Costa

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S238a Santos, Raul Felipe Rocha dos.
Avaliação do plano sistematizado e atributos físicos do solo do gramado da Arena Castelão em Fortaleza-CE / Raul Felipe Rocha dos Santos. – 2025.
54 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2025.
Orientação: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa.

1. Gramados Esportivos. 2. Atributos físicos do solo. 3. Condições favoráveis de jogo. 4. Arena Castelão.
I. Título.

CDD 630

RAUL FELIPE ROCHA DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DO PLANO SISTEMATIZADO E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO
DO GRAMADO DA ARENA CASTELÃO EM FORTALEZA-CE.

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Programa de
Graduação em Agronomia da
Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial à obtenção do título
de Engenheiro Agrônomo.

Aprovada em: 24/02/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. José Arnaldo Farias Sales
Universidade Federal do Ceará (UFC)

MSc. Pedro Victor Veras Paiva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico primeiramente a DEUS.

A toda a minha família, em especial a minha mãe Noélia e
minha tia loneide.

A meu pai José Airton e meu grande amigo Wanderson.

AGRADECIMENTOS

Aos amigos que trilharam comigo os caminhos da graduação, em especial aos colegas da turma de Agronomia 2018.2, cuja cumplicidade fortaleceu minha trajetória.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), instituição que não apenas me capacitou tecnicamente, mas moldou valores éticos e humanos essenciais para minha vida profissional e pessoal. À Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis, pelo suporte material por meio das bolsas de incentivo, alicerce fundamental para que eu pudesse dedicar-me integralmente à formação acadêmica.

Ao estimado Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa, orientador cuja sabedoria e generosidade guiaram este trabalho desde os primeiros esboços. Agradeço não apenas por me ajudar no sonho de trabalhar com gramados esportivos, mas pela paciência e pelos conselhos. Agradeço também aos seus orientandos, assim como ao Arnaldo e ao Almiro, pelo apoio durante os testes em campo.

Aos membros da banca examinadora pelas valiosas contribuições ao longo do desenvolvimento deste trabalho, Dr. Arnaldo e, em especial, ao Pedro Victor, cuja participação foi fundamental para a realização desta pesquisa.

Aos docentes do curso de Agronomia, pela transmissão do conhecimento. Cada aula, orientação e debate contribuiu para minha visão holística da profissão.

À Secretaria de Esportes do Estado do Ceará, pela oportunidade ímpar de estágio, e a conduzir as análises técnicas fundamentais para este estudo. À empresa Campanelli Gramados Esportivos e Áreas Verdes, representada por Pedro Victor e Renato, pelo gesto generoso em me auxiliar no desenvolvimento dos testes, assim como a toda sua equipe de funcionários no Castelão

Aos meus irmãos do Desporto Universitário que compartilharam sonhos, dores, tristezas e alegrias durante cada competição. Foi uma honra representar a UFC. Ao Prof. Clovandi Costa, pela confiança depositada em meu potencial, e ao Prof. Wildner Lins, cujos ensinamentos ecoam além das quadras.

Por fim, à turma da “Dominagro” pelas tardes descontraídas entre estratégias de *Magic*, onde a mente encontrava refúgio e a amizade se revelava na forma de risadas e cartas embaralhadas.

RESUMO

A pesquisa foi conduzida no gramado da Arena Castelão, em Fortaleza-CE, e teve como objetivo geral realizar uma análise diagnóstica do plano sistematizado com vistas às condições de escoamento superficial (drenagem superficial), a transmissão de água no solo e a resistência mecânica à penetração. Especificamente, os seguintes objetivos: (1) efetuar um levantamento planialtimétrico para mapear a topografia da área e avaliar a eficiência do sistema de drenagem superficial; (2) diagnosticar as características de infiltração e de transmissão de água no solo; (3) e avaliar a resistência mecânica à penetração do solo. Para a análise topográfica do relevo do campo, coletaram-se 79 pontos de altimetria com uma estação total, distribuídos estrategicamente para garantir precisão e representatividade. Utilizaram-se os softwares DataGeosis e Surfer para efetuar os cálculos e elaborar os desenhos, respectivamente. O ensaio de campo para caracterização da infiltração de água no solo foi realizado com a técnica do cilindro-infiltrômetro, no mesmo local onde fora realizado um teste de infiltração por ocasião da reforma do estádio no final do ano de 2012. Amostras de solo indeformadas foram coletadas em quatro pontos georreferenciados para realização de teste em laboratório da condutividade hidráulica do solo saturado (K_o). O ensaio de resistência à penetração do solo foi realizado por meio de um penetrômetro de impacto nos mesmos locais onde foram coletadas as amostras para análise de K_o . Os resultados permitiram as seguintes conclusões: Há a necessidade de pequenos ajustes no plano sistematizado, em especial no lado oeste, tomando como referência o eixo central do campo, para recompor as declividades do solo base ou superfície do terreno para gradientes de declives de 0,5% para as laterais e 0,5% para os gols, conforme estabelecidos para a Copa do Mundo de 2014; A velocidade de infiltração de água no solo com valor de $154,9 \text{ mm h}^{-1}$ é classificada como “muito alta”, preservando as características de infiltração de água no solo, mesmo decorridos 12 anos da reforma nas condições estruturais do campo de jogo para a Copa do Mundo de 2014; Os valores de condutividade hidráulica do solo saturado (K_o) estão classificados na faixa de “alta a muito alta” capacidade de transmissão de água no perfil de solo, constituindo-se em um atributo favorável a uma drenagem efetiva no perfil do solo; Em geral, limitações

ao crescimento radicular surgem a partir da profundidade de 0,12 m, em especial nas regiões próximas às duas áreas das metas.

Palavras-chave: Gramados esportivos; Excesso de água; Atributos físicos do solo; Condições favoráveis de jogo; Arena Castelão.

ABSTRACT

This research was conducted on the turf of Arena Castelão in Fortaleza-CE, Brazil, with the overarching objective of performing a diagnostic analysis of the systematized plan concerning surface runoff (drainage), water transmission in the soil, and mechanical resistance to penetration. Specific aims included: (1) conducting a planialtimetric survey to map the topography of the area and evaluate the efficiency of the surface drainage system; (2) diagnosing soil water infiltration and transmission characteristics; (3) and assessing soil penetration resistance. For the topographic analysis, 79 altimetry points were collected using a total station, strategically distributed to ensure precision and representativeness. DataGeosis and Surfer software were employed for calculations and drafting, respectively. Field infiltration tests were performed using a double-ring infiltrometer at the same location where an infiltration test had been conducted during the stadium's renovation in late 2012. Undisturbed soil samples were collected from four georeferenced points for laboratory testing of saturated hydraulic conductivity (K_o). Soil penetration resistance was measured using an impact penetrometer at the same sampling locations. Key findings include: (1) Minor adjustments to the systematized plan are required, particularly on the western side relative to the field's central axis, to restore base soil or surface slopes to gradients of 0.5% toward the sidelines and 0.5% toward the goals, as established for the 2014 World Cup; (2) The soil water infiltration rate of 154.9 mm h^{-1} is classified as "very high," preserving infiltration characteristics even 12 years post-renovation; (3) Saturated hydraulic conductivity (K_o) values fall within the "high to very high" range, indicating favorable soil drainage capacity; and (4) Root growth limitations begin at a depth of 0.12 m, particularly near the goal areas. Most analyzed points ranged between "good" and "low quality" classifications per FIFA standards, emphasizing the need for targeted management practices to mitigate localized compaction.

Keywords: Sports field; Water excess; Soil physical properties; Favorable playing conditions; Castelão Arena.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Quantidade de jogos na Arena Castelão desde a reforma (Adaptado).	16
Figura 2 - Exemplo de um perfil de campo com camada arenosa sobre colchão drenante de brita - Sistema parecido com o utilizado na Arena Castelão - (Adaptado).....	21
Figura 3 - Local de testes de campo e coleta de amostras de solo.....	24
Figura 4 - Coleta de pontos.....	25
Figura 5 - Coordenadas UTM dos pontos coletados.....	26
Figura 6 - Instalação dos cilindros para teste de infiltração.....	27
Figura 7 - Amostra de solo indeformada retirada do centro do campo.....	29
Figura 8 - Permeâmetro de carga constante com frasco de Mariotte.....	30
Figura 9 - Teste com penetrômetro de impacto.....	31
Figura 10 - Curvas de nível do gramado da Arena Castelão em 05 de novembro de 2024.	33
Figura 11 - Superfície de resposta do terreno.....	34
Figura 12 - Lâmina de água infiltrada em função do tempo acumulado.....	36
Figura 13 - Jogadores de Fortaleza e Sport disputam a posse de bola em uma parte do campo encharcada.....	40
Figura 14 - Resistência do solo a penetração nos demais pontos.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de campo do teste de infiltração de água no solo em 14 de janeiro de 2025.....	36
Tabela 2 - Dados do teste realizado em 2012 nos preparativos para a Copa do Mundo de 2014 (04/12/12).	37
Tabela 3 - Classificação conforme a velocidade de infiltração básica do solo.	38
Tabela 4 - Dados para cálculo da condutividade hidráulica do solo saturado..	41
Tabela 5 - Classes de condutividade hidráulica do solo saturado.....	42
Tabela 6 - Classificação da resistência à penetração do solo.....	43
Tabela 7 - Tabela do sistema de avaliação dos parâmetros de resistência a penetração e infiltração (Adaptado).	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

acum.	Acumulado
C4	Rota Metabólica C4
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros quadrados
CONMEBOL	Confederação Sul-Americana de Futebol
dm	Decímetros
FIFA	Federação Internacional de Futebol Associado
IDW	Inverso da Distância Ponderada
inf.	Infiltração
Inst.	Instantâneo
kg	Quilogramas
kgf	Quilograma-Força
Ko	Condutividade Hidráulica do Solo Saturado
m	Metros
MDTs	Modelos Digitais de Terreno
MED	Medidores Eletrônicos de Distância
mm	Milímetros
MPa	Megapascal
Prox.	Próximo
Sesporte	Secretaria de Esporte do Estado do Ceará
TIN	Rede Irregular de Triangulação
UFC	Universidade Federal do Ceará
UTM	Universal Transversa de Mercator
VIB	Velocidade de Infiltração Básica
WMO	Organização Mundial de Meteorologia
Funceme	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1	INTRUDUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Arena Castelão	14
2.2	Plano Sistematizado	16
2.3	Características de transmissão de água no solo	18
2.3.1	<i>Infiltração</i>	18
2.3.2	<i>Condutividade hidráulica</i>	19
2.4	Resistência do solo	21
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	Caracterização do local de pesquisa.....	24
3.2	Levantamento planialtimétrico do plano sistematizado	25
3.3	Ensaio em campo da infiltração de água no solo	26
3.4	Coleta das amostras indeformadas e ensaios da condutividade hidráulica do solo saturado	28
3.5	Resistência do solo a penetração.....	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	Análise do plano sistematizado do campo de jogo	33
4.2	Infiltração de água no solo.....	35
4.3	Condutividade hidráulica do solo saturado.....	40
4.4	Avaliação da resistência à penetração.....	42
5	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	48
	APENDICE A – DADOS BRUTOS – TESTE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO.....	53

1 INTRODUÇÃO

A Arena Castelão, localizada em Fortaleza, Ceará, é um dos estádios mais importantes do Brasil. Construído em 1973 e reformado em 2012 para a Copa do Mundo FIFA de 2014, o estádio reconhecido internacionalmente, sediando eventos como Libertadores, Copa Sul-Americana e Campeonato Brasileiro. Além disso, está concorrendo como possível sede da Copa do Mundo Feminina da FIFA em 2027 que acontecerá no Brasil (SESPORTE 2024), o que exige sua importância em nível global.

Devido a sua importância no cenário do futebol nacional e internacional, a Arena Castelão tem recebido uma carga crescente de eventos. Em 2024, o estádio sediou 63 jogos oficiais e um show, impondo desafios consideráveis à manutenção do gramado. O uso intensivo resulta em desgaste excessivo, como compactação do solo e danos à grama, fatores que comprometem a qualidade do campo e podem impactar tanto o desempenho dos atletas quanto a segurança durante as partidas.

A qualidade do gramado é essencial para a jogabilidade, a segurança dos atletas e a experiência dos torcedores. Estádios com campos bem cuidados são mais aptos a sediar eventos internacionais, o que eleva a visibilidade do futebol nacional. Gramados bem mantidos proporcionam uma melhor dinâmica nas partidas e reduzem o risco de lesões. No entanto, a manutenção eficiente exige não apenas trabalho manual, mas também o uso de tecnologias e práticas de manejo adequadas.

A realização de testes regulares no gramado é fundamental para monitorar sua condição. Testes uniformidade, compactação e análise da drenagem permitem identificar problemas precocemente, possibilitando uma manutenção preventiva e corretiva mais eficaz. Esses dados também ajudam a otimizar o uso dos recursos e garantir a segurança e o desempenho do campo para jogos de alto nível.

Portanto, a realização de testes técnicos no gramado da Arena Castelão é fundamental para avaliar sua condição atual e orientar futuras decisões de manutenção. Esses testes são cruciais para garantir a longevidade e a qualidade

do campo, proporcionando um ambiente seguro para os atletas e uma experiência positiva para os torcedores, além de contribuir para a excelência do futebol no Brasil.

O objetivo geral desta pesquisa consistiu em realizar uma análise diagnóstica do plano sistematizado considerando as condições de escoamento superficial (drenagem superficial), a transmissão de água no solo e a resistência mecânica à penetração. Para isso, estabeleceram-se os seguintes objetivos específicos: efetuar um levantamento planialtimétrico georreferenciado, para mapear a topografia da área e avaliar a eficiência do sistema de drenagem atual, identificando pontos críticos de acumulação de água e desníveis que comprometem o escoamento superficial. Em seguida, diagnosticaram-se as características de infiltração de água no solo por meio do método do infiltrômetro de cilindros concêntricos, quantificando a taxa de infiltração básica e correlacionando-a com atributos físicos do solo, como textura e estrutura. Paralelamente, determinou-se em laboratório a condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) com o uso de um permeâmetro de carga constante, para compreender a dinâmica de transmissão de água no perfil do solo. Por fim, avaliou-se a resistência mecânica à penetração do solo com auxílio de um penetrômetro de impacto, identificando camadas compactadas que limitam o desenvolvimento radicular da grama e, conseqüentemente, sua produtividade.

A integração desses objetivos permitiu uma abordagem multidisciplinar, vinculando dados topográficos, hidrofísicos e mecânicos para propor melhorias no plano sistematizado. Isso inclui ajustes na declividade do terreno para otimizar o escoamento superficial, práticas de manejo para reduzir a compactação do solo (como subsolagem seletiva) e aprimoramentos na infraestrutura de drenagem, garantindo maior eficiência e sustentabilidade no crescimento e desenvolvimento adequado do gramado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Arena Castelão

O Estádio Governador Plácido Castelo, mais conhecido como Arena Castelão, ou simplesmente Castelão, é um dos mais importantes estádios do Brasil. Localizado no bairro Castelão, em Fortaleza, Ceará, recebeu esse nome em homenagem ao governador Plácido Castelo. Inaugurado em 11 de novembro de 1973, o estádio foi palco de sua primeira partida com um clássico local entre Ceará e Fortaleza, que reuniu cerca de 70.000 pessoas. Desde então, o Castelão se consolidou como um marco no cenário esportivo e cultural do país.

Atualmente, a Arena Castelão tem capacidade para 63.903 espectadores, sendo o maior estádio das regiões Norte e Nordeste, o quarto maior do Brasil e um dos 60 maiores do mundo. Ao longo de sua história, passou por importantes reformas. A primeira grande intervenção ocorreu em 2002, com melhorias estruturais. O Castelão foi reinaugurado em 16 de dezembro de 2012, após passar por uma transformação completa que o converteu em uma arena multiuso e moderna. As reformas incluíram a instalação de uma ampla cobertura que protege todas as arquibancadas, garantindo maior conforto térmico e melhor ventilação para os espectadores. Além disso, houve uma modernização abrangente das instalações, com a criação de novos acessos, camarotes, áreas de imprensa e espaços destinados ao público.

No final de 2022, a Arena Castelão passou por uma modernização estrutural completa em seu gramado, visando aprimorar sua funcionalidade e resistência. O processo, iniciado em 14 de novembro, seguiu três etapas estratégicas. Na fase inicial, todo o gramado antigo foi removido, juntamente com as camadas de areia e brita, expondo as tubulações de drenagem originais. Posteriormente, o sistema de drenagem foi totalmente reformulado: as valas, tubos e mantas bidim foram ampliados em 100%, passando de 1.850 para 3.700 metros de tubulação em formato de espinha de peixe – um salto técnico que dobrou a capacidade de escoamento de água. Com a infraestrutura subterrânea renovada, deu-se início à recomposição do solo. Novas camadas de brita e areia foram aplicadas, seguidas de nivelamento a laser para garantir precisão topográfica. O sistema de irrigação, então, passou por testes rigorosos e ajustes técnicos. Na etapa final, após a implantação das mudas de grama, um plano de

manejo dedicado ao enraizamento e crescimento foi executado, enquanto a irrigação automatizada recebeu atualizações para otimizar eficiência hídrica (NOVO, 2023).

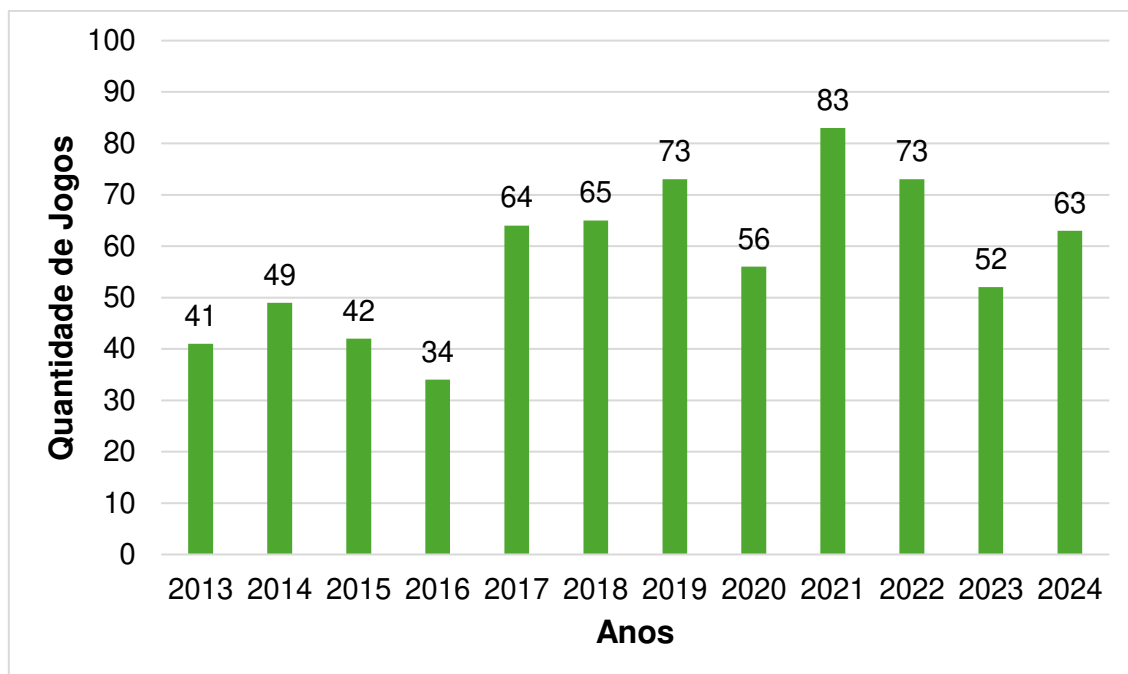
Ao longo dos anos, o Castelão sediou eventos marcantes como a Copa das Confederações de 2013 e a Copa do Mundo de 2014. Com a recente ascensão do futebol cearense ao topo do cenário nacional e internacional, descrita por Zico como 'fundamental pelos resultados e pela forma como os clubes cearenses passaram a se comportar no cenário brasileiro' (Portal O POVO, 2024), o estádio tornou-se palco regular de competições como Libertadores, Copa Sul-Americana, Copa do Brasil, Copa do Nordeste e as Séries A, B e C do Campeonato Brasileiro. O ano de 2024 marcou o terceiro consecutivo em que a Arena recebeu um público superior a 1 milhão de torcedores durante a temporada de futebol (SENA, 2024).

Desde a reforma realizada em 2013, o gramado da Arena Castelão consolidou-se como um dos principais palcos esportivos do país, sediando um total de 695 partidas até o fim da última temporada de 2024 (Figura 1), conforme a pesquisa de MAZZA (2023). Esse volume corresponde a uma média de aproximadamente 58 jogos por temporada, índice que evidencia não apenas a intensa utilização do estádio, mas também sua relevância estratégica para a realização de eventos esportivos em âmbito regional e nacional. A alta demanda pelo espaço reflete sua capacidade de adaptação e manutenção após a modernização, consolidando-o como um legado funcional e simbólico para o cenário esportivo brasileiro.

A Arena Castelão consolida-se não apenas como um ícone esportivo, mas também como um espaço multifuncional de relevância histórica e cultural. Em 1980, o estádio foi palco de um marco histórico: a visita do Papa João Paulo II, evento que mobilizou milhares de fiéis e marcou a memória coletiva do estado (DIÁRIO DO NORDESTE, 2024). Além de sediar competições de destaque internacional, o local transformou-se em um epicentro de grandes espetáculos musicais, recebendo artistas consagrados como Paul McCartney, Beyoncé, Elton John, Roberto Carlos, Ivete Sangalo e Iron Maiden, que atraíram públicos diversos e reforçaram sua vocação cultural (MAZZA, 2023). Recentemente, em novembro de 2024, o gramado da arena acolheu o emblemático show de

Caetano Veloso e Maria Bethânia, consolidando o espaço como um legado vivo para a música brasileira (DIÁRIO DO NORDESTE, 2024).

Figura 1 - Quantidade de jogos na Arena Castelão desde a reforma (Adaptado).



Fonte: GOVERNO DO CEARÁ, 2023 apud MAZZA, 2023.

Por sua importância histórica e estrutural, o Castelão foi escolhido como uma das possíveis sedes da Copa do Mundo Feminina FIFA 2027 (ARENA, 2024), reforçando seu papel de destaque no cenário esportivo global.

2.2 Plano sistematizado

O planejamento detalhado do relevo é fundamental para a agricultura, especialmente em projetos de irrigação, onde a topografia influencia diretamente a eficiência hídrica e a sustentabilidade ambiental. A topografia clássica, baseada em instrumentos como teodolitos e estações totais, desempenha um papel crucial nesse contexto. As estações totais, que integram medidores eletrônicos de distância (MED) e microprocessadores, permitem medições rápidas e precisas de ângulos, distâncias e elevações, sendo ideais para áreas menores ou projetos que exigem alto nível de detalhamento (DIAS *et al.*, 2010). Essa ferramenta ajuda a identificar declividades críticas, evitando a erosão do

solo e definindo zonas de plantio adequadas, além de orientar a instalação de sistemas de irrigação que respeitem a topografia natural, como a distribuição uniforme de água em terrenos inclinados.

Para áreas extensas ou com heterogeneidade topográfica, métodos de interpolação espacial complementam os levantamentos tradicionais. O Inverso da Distância Ponderada (IDW), por exemplo, estima valores desconhecidos de elevação com base na proximidade de pontos amostrados, sendo simples e eficaz para gerar modelos preliminares em regiões com dados esparsos (LI e HEAP, 2008). Já a Rede Irregular de Triangulação (TIN) utiliza triângulos irregulares para representar o relevo, adaptando-se a variações abruptas como vales e colinas, além de incorporar linhas de drenagem e divisores de água (LAM, 2009; PENHA e COELHO, 2021). Esses métodos são essenciais para criar Modelos Digitais de Terreno (MDTs), que simulam o escoamento superficial de chuvas e identificam zonas de infiltração preferencial, direcionando a irrigação para áreas com menor retenção hídrica e prevenindo alagamentos.

O nivelamento em gramados de futebol é um fator essencial para garantir a qualidade do jogo, a segurança dos atletas e a eficiência da drenagem. Um campo bem nivelado proporciona uma superfície uniforme, permitindo que a bola role de maneira previsível e evitando desníveis que possam comprometer o desempenho dos jogadores e aumentar o risco de lesões (CONMEBOL, 2019).

Além disso, o nivelamento adequado melhora a drenagem do gramado, evitando o acúmulo de água em determinadas áreas do campo durante chuvas intensas. Superfícies irregulares podem gerar pontos de encharcamento, tornando o solo mais instável e prejudicando tanto a jogabilidade quanto a manutenção do gramado (DOS SANTOS, 2020).

Outro aspecto importante é a durabilidade do gramado, já que irregularidades no solo podem resultar em desgaste desigual da grama, afetando a resistência da cobertura vegetal e exigindo reparos frequentes.

2.3 Características de transmissão de água no solo

2.3.1 Infiltração.

A infiltração é o processo de entrada de água no solo, através da sua superfície. É o que acontece quando uma superfície recebe água pela chuva ou irrigação, e durante esse processo a água irá se movimentar no sentido vertical, alcançando camadas mais profundas no solo. Isso ocorre porque a água da chuva ou irrigação tem potencial total (soma de energias responsáveis pelo movimento da água no solo), aproximadamente nulo e a água no solo tem potencial negativo (quanto mais seco o solo mais negativo será). Isso ocasiona um gradiente de potencial total (soma do potencial gravitacional e potencial matricial), que é, portanto, a força responsável pelo movimento da água no solo (REICHARDT, 1990).

Segundo Libardi (2005), a infiltração é o fenômeno responsável por determinar a proporção da precipitação, seja ela chuva ou irrigação, que escoar pela superfície do solo e a que penetra abaixo dela. Esse movimento subterrâneo pode ocorrer tanto de forma vertical quanto horizontal, dependendo das características do solo. O autor define o termo "taxa de infiltração" como a quantidade de água que atravessa uma unidade de área da superfície do solo em um período de tempo específico. Pesquisas experimentais indicam que, em um perfil de solo homogêneo e inicialmente seco, a taxa de infiltração apresenta uma redução progressiva ao longo do tempo até alcançar um valor estável. Conforme menciona Reichardt (1990), isso ocorre porque, no início do processo de infiltração, quando o solo está relativamente seco, o gradiente potencial é extremamente elevado. Contudo, à medida que o tempo de infiltração se prolonga, o gradiente total vai progressivamente reduzindo, aproximando-se do gradiente gravitacional, que, por sua vez, é consideravelmente menor em comparação ao estágio inicial do processo.

A infiltração é um fenômeno de grande importância prática, caracterizado pela complexidade devido a influência de diversas variáveis, como porosidade, umidade do solo, atividades biológicas, cobertura vegetal, rugosidade da superfície e inclinação do terreno (FILHO, 2014).

Os problemas de infiltração são causados por diversos fatores (BRANDÃO *et al.*, 2006). Especificamente, em gramados de futebol os principais

acabam sendo a compactação do solo e a intensidade das chuvas. Solos compactados possuem baixa porosidade e reduzida condutividade hidráulica, dificultando a absorção da água e favorecendo o escoamento superficial. Durante chuvas intensas, a taxa de precipitação pode superar a capacidade de infiltração do solo, resultando no acúmulo de água na superfície (DOS SANTOS *et al.*, 2020)

Para Dos Santos *et al.* (2020), a drenagem surge como uma solução essencial para mitigar problemas de infiltração em gramados esportivos, auxiliando na remoção do excesso de água e na melhora da permeabilidade do solo. Quando a infiltração é prejudicada devido à compactação ou baixa porosidade, a água da chuva tende a se acumular na superfície, aumentando o escoamento superficial, a erosão e o risco de alagamentos. A drenagem, seja natural ou artificial, atua facilitando a redistribuição da umidade no solo e evitando a saturação excessiva, que pode comprometer o desenvolvimento das plantas.

Ainda para o mesmo autor, a implementação de sistemas de drenagem em gramados esportivos de alto nível é imprescindível, e envolve técnicas como a instalação de tubos subsuperficiais (drenos), camadas de areia ou brita para aumentar a condutividade hidráulica, e o uso de perfis de solo estratificados que favorecem a percolação vertical. Além disso, a drenagem artificial previne a compactação adicional do solo, pois minimiza o período de saturação hídrica, que fragiliza a estrutura do solo sob pressão mecânica, como o tráfego máquinas e de jogadores.

2.3.2 Condutividade hidráulica

Nos estudos sobre o movimento da água em meios porosos, Darcy (1856) foi pioneiro ao formular a primeira equação de fluxo enquanto investigava o comportamento da água em colunas de areia saturadas. Essa fórmula, amplamente conhecida como equação de Darcy (Equação 1), descreve que o volume de água que atravessa um meio poroso por unidade de tempo e área é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico. A constante que define essa relação é chamada de condutividade hidráulica, e sua função é caracterizar a capacidade do meio poroso de transmitir água.

$$Q = k \left(\frac{\Delta h}{L} \right) A \quad (1)$$

De forma mais simplificada, Duarte *et al.* (2015) diz que a condutividade hidráulica pode ser definida como a facilidade com que um fluido se move através de um meio poroso, afetada pelas características do meio e pelas propriedades do fluido. Este conceito é crucial na pesquisa de águas subterrâneas. Baseia-se na estimativa e avaliação das propriedades físicas do solo para identificar problemas relacionados à drenagem.

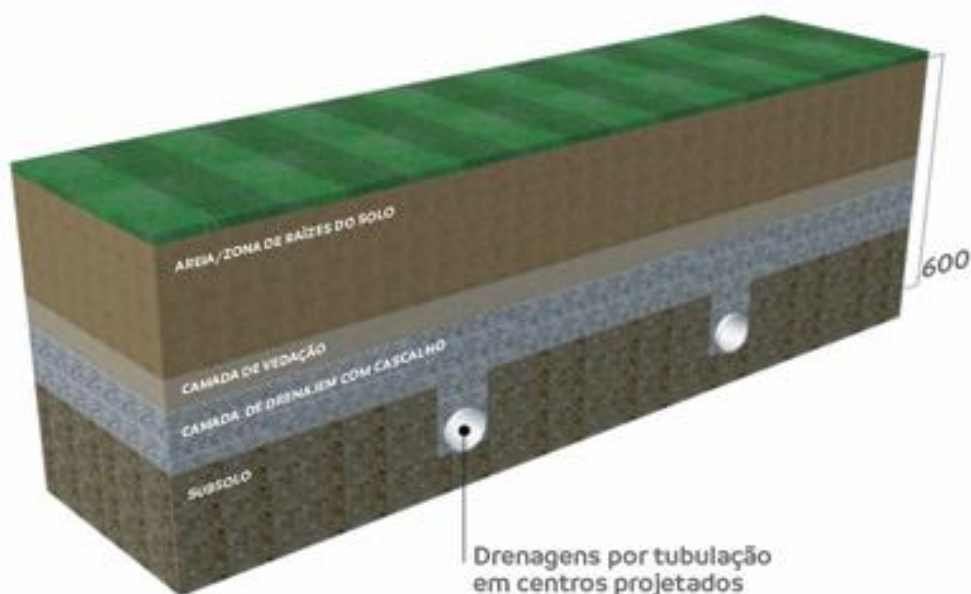
Dentre as principais propriedades hidrodinâmicas do solo, a condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) é a mais proeminente e representa a capacidade máxima do solo em transportar água. Quando o solo está saturado, todos os poros ficam preenchidos com água, fazendo com que a condutividade hidráulica atinja o maior valor possível (FILHO, 2014).

De acordo com Ellies *et al.* (1997), a condutividade hidráulica do solo em condições de saturação reflete a eficiência de seu sistema de poros, abrangendo características como quantidade, tamanho, forma, continuidade e orientação deles. Dentre essas características, a macroporosidade desempenha papel crítico, uma vez que os macroporos são responsáveis pela condução de água e aeração do solo em condições de saturação. Por outro lado, os microporos atuam predominantemente na retenção hídrica e no fluxo em condições não saturadas.

A redução da macroporosidade pode comprometer significativamente a K_0 , limitando o fluxo de água saturada e prejudicando processos como a redistribuição hídrica no perfil e a aeração do solo (RIBEIRO *et al.*, 2007). Valores reduzidos de K_0 estão frequentemente associados a solos com maior densidade e menor proporção de macroporos, conforme evidenciado por Sakaguchi *et al.* (2005), que demonstraram a relação direta entre K_0 e macroporosidade, e inversa com a densidade. Essa correlação é observada, por exemplo, em horizontes subsuperficiais compactados, onde a diminuição de macroporos restringe a infiltração e o movimento da água.

No caso específico do gramado da Arena Castelão, a camada superficial foi construída sobre uma base arenosa apoiada em um colchão drenante de brita (Figura 2). Esse sistema é projetado para garantir drenagem eficiente em condições de excesso hídrico, enquanto retém água na zona radicular em períodos secos, exceto durante precipitações intensas ou irrigação excessiva. Considerando que a macroporosidade tende a ser elevada em solos arenosos e estruturas com camadas drenantes, é esperado que os testes de condutividade hidráulica revelem altos valores de K_0 . Esse resultado estaria alinhado com a premissa de que a combinação de textura arenosa e infraestrutura de brita favorece a manutenção de poros de maior diâmetro, otimizando o fluxo de água em saturação.

Figura 2 - Exemplo de um perfil de campo com camada arenosa sobre colchão drenante de brita - Sistema parecido com o utilizado na Arena Castelão - (Adaptado).



Fonte: CONMEBOL, 2019, p 17.

2.4 Resistência do solo

Um fator que impacta diretamente o crescimento das plantas é a resistência mecânica do solo. Esse fenômeno está relacionado à dificuldade que as raízes enfrentam ao tentar crescer em camadas de solo densas e

compactadas (LETEY, 1985). O desenvolvimento das raízes pode provocar a deformação do solo em uma região próxima à extremidade radicular, sendo necessário que a pressão aplicada sobre as partículas e/ou agregados seja suficiente para permitir tanto a penetração quanto o alongamento das raízes (BENNIE, 1996). Altos níveis de resistência do solo à penetração podem impactar diretamente o crescimento das raízes, afetando tanto seu comprimento quanto seu diâmetro (MEROTTO & MUNDSTOCK, 1999).

Masle & Passioura (1987) sugerem que a redução no crescimento da parte aérea ocorre principalmente em resposta a um sinal hormonal gerado nas raízes quando estas enfrentam alta resistência do solo. Portanto, a resistência do solo à penetração das raízes tem efeitos diretos no crescimento da parte aérea das plantas.

Em gramados esportivos, mesmo sob protocolos eficientes de manutenção, a superfície do campo está sujeita ao pisoteio contínuo durante atividades esportivas, induzindo a compressão das partículas do solo. Esse processo promove a redução da porosidade original da matriz do solo, culminando na compactação progressiva e no aumento da resistência mecânica à penetração radicular da grama (SANTOS, 2008).

A resistência do solo à penetração cria, portanto, um ambiente bastante desfavorável para o crescimento das plantas. Estudos indicam que o pisoteio frequente promove danos expressivos aos gramados, especialmente pelo desgaste mecânico ou ruptura do sistema radicular no perfil do solo, comprometendo também a estrutura da parte aérea (ALI HARIVANDI, 2002). Essa degradação física reduz a capacidade de armazenamento de água e nutrientes, limitando o desenvolvimento vegetal.

A redução do crescimento da parte aérea das plantas favorece a maior incidência de radiação solar direta no solo, elevando sua temperatura superficial e criando condições propícias à proliferação de espécies invasoras, o que acelera a degradação do gramado (CARROW, 1981). Além disso, Harivandi (2002) ressalta que a compactação induz alterações morfológicas nas raízes, como o enraizamento superficial e o espessamento radicular, associados à redução da eficiência nutricional. Essa dinâmica resulta em sintomas visuais,

como o amarelecimento generalizado da grama, decorrente da menor disponibilidade de nitrogênio.

3 MATERIAL E MÉTODOS

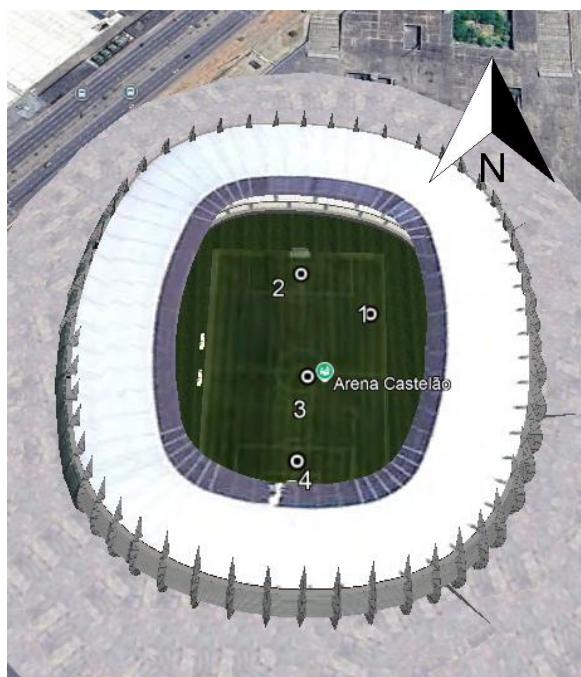
3.1 Caracterização do local de pesquisa

O estudo foi conduzido no gramado da Arena Castelão, em Fortaleza-CE, mediante convênio técnico-científico entre a Universidade Federal do Ceará (UFC), a Secretaria de Esportes do Estado do Ceará (Sesporte) e a empresa Campanelli Gramados Esportivos e Áreas Verdes, responsável pela manutenção fitotécnica do gramado.

No sentido de atender aos objetivos da pesquisa elaborou-se um cronograma operacional estruturado em três visitas de campo, nas quais foram obtidas informações relativas às condições atuais do plano sistematizado do campo, teste de infiltração de água no solo, coleta de amostras indeformadas para avaliação da condutividade hidráulica do solo saturado em laboratório e resistência do solo à penetração por meio de um penetrômetro de impacto.

A Figura 3 mostra os locais dos testes e coleta de amostras de solo, sendo que o teste de infiltração de água no solo foi realizado no ponto 1, com o propósito de realizar análise comparativa com teste realizado no dia 12 de dezembro de 2012, quando da reforma do estádio para a Copa das Confederações e Copa do Mundo.

Figura 3 - Local de testes de campo e coleta de amostras de solo.



Fonte: Autor.

3.2 Levantamento planialtimétrico do plano sistematizado

Para a análise topográfica do relevo do campo, foram coletados 83 pontos altimétricos, distribuídos estrategicamente para garantir precisão e representatividade. Desses, quatro pontos foram posicionados nos vértices das áreas de escanteio, delimitando os limites do terreno, enquanto 79 pontos foram distribuídos uniformemente ao longo do gramado, abrangendo áreas planas, declives e zonas críticas de interesse. A coleta dos dados foi realizada utilizando uma estação total Ruide RTS-820, equipamento de alta precisão que combina medições angulares e de distância, seguindo o método de levantamento por irradiação. Esse método consiste em posicionar o equipamento em um ponto fixo (estação) e medir coordenadas (X, Y, Z) de múltiplos pontos a partir dessa referência, garantindo agilidade e consistência nas medições (Figura 4).

Os dados coletados foram processados em software especializado para gerar curvas de nível com equidistância vertical de 0,05 m.

Figura 4 - Coleta de pontos.



Foto: Autor.

Os dados brutos coletados pela Estação Total foram importados para o software DataGeosis, onde foram processados para calcular as coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) de cada um dos 81 pontos topográficos, conforme ilustrado na Figura 5. Posteriormente, as informações georreferenciadas foram transferidas para o programa Surfer 8.0 (Golden Software), utilizado para a elaboração das curvas de nível por meio de interpolação espacial. O processo incluiu a aplicação do método de interpolação Krigagem Ordinária (ou Inverso da Distância Ponderada, conforme configuração do projeto), garantindo precisão na representação das variações altimétricas do terreno. A equidistância vertical definida para as curvas foi de 0,02 m, permitindo identificar microdesníveis críticos para a análise de escoamento superficial e drenagem (ALMEIDA JUNIOR, 2023).

Figura 5 - Coordenadas UTM dos pontos coletados.

eq	op	uv	Zenital														
pt EST	ds EST	x	553049,000	y	9579175,000	z	100,000										
pt EST	ds	ai	1,510														
pt RE	ds	az	0°00'00"	av	84°11'37"	di	0,000	ap	1,600								
pt 1	ds VT	ah	354°36'46"	av	90°08'21"	di	62,510	ap	1,600	x	553043,131	y	9579237,234	z	99,758		
pt 2	ds VT	ah	60°29'47"	av	90°14'31"	di	62,385	ap	1,600	x	553103,295	y	9579205,723	z	99,647		
pt 3	ds VT	ah	174°49'32"	av	90°00'07"	di	62,449	ap	1,600	x	553054,632	y	9579112,805	z	99,908		
pt 4	ds VT	ah	240°36'22"	av	90°00'07"	di	62,493	ap	1,600	x	552994,552	y	9579144,328	z	99,908		
pt 5	ds CN	ah	238°46'54"	av	89°55'41"	di	54,279	ap	1,600	x	553002,581	y	9579146,867	z	99,978		
pt 6	ds CN	ah	233°24'12"	av	89°52'48"	di	51,301	ap	1,600	x	553007,813	y	9579144,416	z	100,017		
pt 7	ds CN	ah	227°38'08"	av	89°49'58"	di	49,529	ap	1,600	x	553012,404	y	9579141,625	z	100,055		
pt 8	ds CN	ah	221°04'29"	av	89°48'36"	di	0,000	ap	1,600	x	553049,000	y	9579175,000	z	99,910		
pt 9	ds CN	ah	214°27'14"	av	89°48'38"	di	47,621	ap	1,600	x	553022,059	y	9579135,733	z	100,067		
pt 10	ds CN	ah	207°47'18"	av	89°45'12"	di	47,121	ap	1,600	x	553027,032	y	9579133,314	z	100,113		
pt 11	ds CN	ah	201°04'40"	av	89°48'45"	di	47,443	ap	1,600	x	553031,938	y	9579130,732	z	100,065		
pt 12	ds CN	ah	194°20'50"	av	89°48'46"	di	48,456	ap	1,600	x	553036,993	y	9579128,056	z	100,068		

Fonte: Autor.

3.3 Ensaio em campo da infiltração de água no solo

No teste utilizaram-se dois cilindros de chapas com 30 e 20 cm de diâmetro, respectivamente, ambos com 20 cm de altura. Utilizaram-se ainda os seguintes instrumentos auxiliares: régua graduada para medição do nível da água no cilindro, plástico preto fino usado no início do teste para impedir a

infiltração quando a água for introduzida no cilindro, além de cronômetro e um nível de pedreiro.

No procedimento de campo instalaram-se os dois cilindros no solo até uma profundidade de 5,0 cm (Figura 6) buscando-se um perfeito contato do solo com as paredes dos cilindros. Em seguida cobriu-se o fundo do cilindro central com o plástico e introduziu-se água no cilindro interno e externo até próximo do bordo superior. Retirou-se o plástico e, imediatamente, realizou-se a primeira leitura de lâmina infiltrada, utilizando a régua graduada.

As leituras de nível d'água e o tempo em que se fizeram as referidas medições foram anotados em uma planilha auxiliar, sendo que os intervalos de tempo de medições no início foram menores, em função do processo de infiltração ser mais rápido no início. Os níveis d'água nos dois cilindros foram mantidos aproximadamente iguais, procedendo-se ao reabastecimento dos mesmos durante os testes.

Figura 6 - Instalação dos cilindros para teste de infiltração.



Fonte: Autor.

Os valores de lâminas infiltradas acumuladas em função do tempo acumulado foram analisados através de regressão, conforme modelo estatístico potencial, que melhor se ajusta ao comportamento físico do processo de infiltração, na forma de $Z = KT^a$, em que:

Z: lâmina de infiltração acumulada, mm;

T: Tempo de infiltração acumulado, min;

K e a: parâmetros empíricos do modelo obtidos por regressão.

A equação de velocidade de infiltração instantânea (q) foi obtida por derivação da equação de infiltração acumulada (Z) em relação ao tempo, ou seja;

$q = dZ/dT$, e portanto $q = K'.T^n$, em que,

q: velocidade de infiltração instantânea, mm h⁻¹;

T: Tempo acumulado, min;

K' e n: parâmetros empíricos do modelo.

3.4 Coleta das amostras indeformadas e ensaio da condutividade hidráulica do solo saturado

Amostras indeformadas de solo foram coletadas em quatro pontos georreferenciados do campo de futebol (Figura 7), visando preservar a estrutura natural do material para análise hidrodinâmica. Os locais de amostragem incluíram: Ponto 1: Próximo à área de execução do ensaio de infiltração; Ponto 2: Área do gol norte; Ponto 3: Centro geométrico do campo; Ponto 4: Área do gol sul.

No laboratório, as amostras foram inicialmente postas para saturar em uma bandeja com água elevada até um terço da altura do cilindro, possibilitando a ascensão da água no perfil da amostra por um tempo de 24 horas, e em seguida, no topo de cada uma delas foi acoplado um cilindro com as mesmas dimensões para introduzir uma carga hidráulica durante os testes. Na sequência realizaram-se os testes de condutividade hidráulica do solo saturado (K_o) por meio de um permeâmetro de carga constante, equipado com um frasco de Mariotte para garantir a manutenção da carga hidráulica durante o teste (Figura 8).

É importante salientar que em gramados esportivos, ocorre um fenômeno conhecido como "colchão" ou "thatch", que consiste em uma camada superficial

de matéria orgânica formada pelo acúmulo de raízes, colmos e resíduos de cortes entre o solo e a vegetação. Quando essa camada se torna excessiva, pode comprometer a infiltração de água, favorecer o desenvolvimento de patógenos e doenças, além de conferir ao gramado um aspecto de "grama solta", facilitando o arrancamento dos tufos durante a movimentação dos atletas. Fatores como compactação do solo, desregulação do pH e drenagem inadequada intensificam o acúmulo do *thatch*, tornando essencial a adoção de práticas como a aeração e a correção da acidez para minimizar seus efeitos negativos. (MANAGING, 2023?).

No estudo, a altura do *thatch* não foi calculada nas análises de amostras indeformadas, pois, embora influencie a dinâmica água-solo, o objetivo central era avaliar propriedades físico-hídricas intrínsecas do solo mineral (macroporosidade, densidade), isolando interferências da cobertura vegetal. Essa exclusão assegurou que os resultados refletissem apenas características do solo subjacente, essenciais para compreender padrões de drenagem e retenção hídrica em gramados esportivos.

Figura 7 - Amostra de solo indeformada retirada do centro do campo.



Fonte: Autor.

Figura 8 - Permeâmetro de carga constante com frasco de Mariotte.



Fonte: Autor.

Na aferição da condutividade hidráulica do solo saturado (K_o) utilizou-se a seguinte equação:

$$K_o = \frac{V_a \cdot L}{A \cdot t(h + L)} \quad (2)$$

em que:

V_a : Volume de água percolada durante o tempo t ;

A : Área da secção transversal da amostra;

L : Comprimento da amostra;

h : Potencial de pressão (= carga hidráulica) no topo da amostra.

3.5 Resistência do solo à penetração

O ensaio de resistência do solo à penetração foi realizado por meio de um penetrômetro de impacto modelo Stolf (1991). Foram avaliados quatro pontos georreferenciados, nos locais de coleta de amostras para análise de K_o ,

garantindo consistência espacial na correlação entre resistência mecânica e parâmetros hidráulicos (Figura 9).

Segundo investigações conduzidas por Stolf na década de 1990, um protocolo foi estabelecido para interpretar medições de penetrômetros de impacto como valores de resistência do solo. O trabalho integrou fundamentos teóricos e experimentos práticos, examinando três equações comumente aplicadas na engenharia civil para traduzir o número de golpes por decímetro (golpes/dm) em resistência dinâmica do solo (kgf/cm^2).

O modelo matemático adotado para o equipamento desenvolvido por Stolf, amplamente difundido no Brasil, é definido pela relação: $R (\text{kgf/cm}^2) = 5,6 + 6,89N (\text{golpes/dm})$.

A abordagem inovou ao incorporar um componente energético previamente negligenciado na literatura técnica, refinando a precisão das conversões. Além disso, o método foi adaptado para compatibilizar unidades de medida internacionais, como a transformação de kgf/cm^2 para MPa (megapascal), considerando variações na aceleração gravitacional.

Figura 9 - Teste com penetrômetro de impacto.



Fonte: Autor.

Na agricultura, essa técnica assume relevância ao quantificar a resistência mecânica do solo de forma confiável, subsidiando decisões estratégicas. Sua aplicação permite mapear áreas compactadas, avaliar condições ideais para desenvolvimento radicular e orientar práticas de manejo que preservem a saúde do solo. Dessa forma, contribui para otimizar a produtividade agrícola e mitigar impactos negativos da compactação, assegurando sustentabilidade no uso da terra.

As características do penetrômetro usado em campo são as seguintes: peso de 1,64 kg com impacto em curso de queda livre de 0,36 m; área de base do cone de 2,27 cm² e massa dos demais componentes de 1,53 kg.

Os pontos escolhidos tiveram como referências os locais onde foram coletadas as amostras indeformadas para os testes de condutividade hidráulica do solo saturado, sendo os dados de impactos e profundidades anotados em uma planilha, com vistas ao posterior cálculo da resistência à penetração, sendo esta realizada em uma planilha do excel.

A partir dos dados coletados, calculou-se a resistência mecânica do solo em planilha do excel seguindo uma sequência metodológica padronizada: inicialmente, a quantidade de impactos aplicados foi dividida pelo valor de penetração correspondente (em cm), obtendo-se um índice que relaciona a energia dispendida à profundidade atingida.

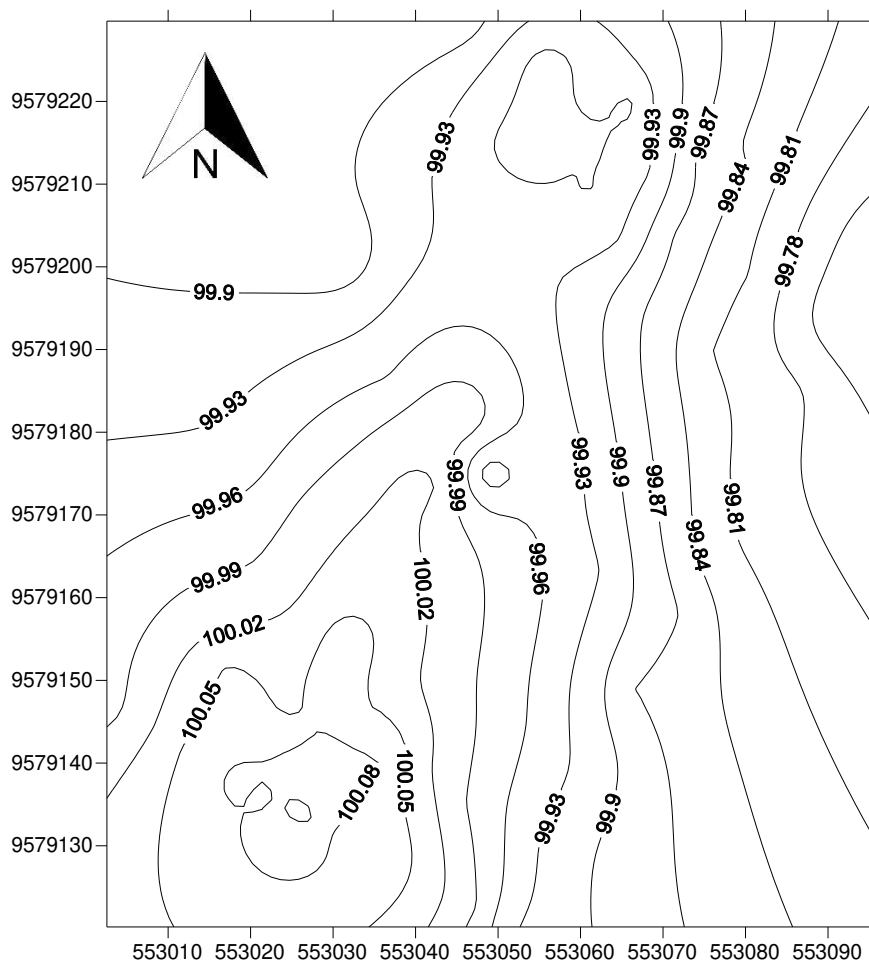
Em seguida, esse resultado foi convertido para decímetros (dm), ajustando a escala para compatibilizar unidades e permitir a aplicação da fórmula de força. Com base nessa relação, determinou-se a resistência à penetração em quilogramas-força por centímetro quadrado (kgf/cm²), considerando a área transversal do penetrômetro. Para padronização, os valores em kgf/cm² foram convertidos para megapascal (MPa) utilizando o fator de conversão (STOLF, 1991).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise do plano sistematizado do campo de jogo

Na Figura 10 estão representadas as curvas de nível do plano sistematizado do campo de acordo com dados coletados no dia 05/11/2024, as quais demonstram gradientes de declives regulares médios de 0,5% para o sentido leste tomando-se como referência o centro do campo. Cabe destacar que este declive ocorre regularmente em toda a extensão do campo, do centro para o sentido leste. Do meio de campo para o sentido norte observam-se declives médios de 0,2%, porém não regulares, no entanto do meio de campo para o sentido sul, o que se verifica é um plano sistematizado contrário ao que se esperava, porquanto se observam acíves médios de 0,2%.

Figura 10 - Curvas de nível do gramado da Arena Castelão em 05 de novembro de 2024.

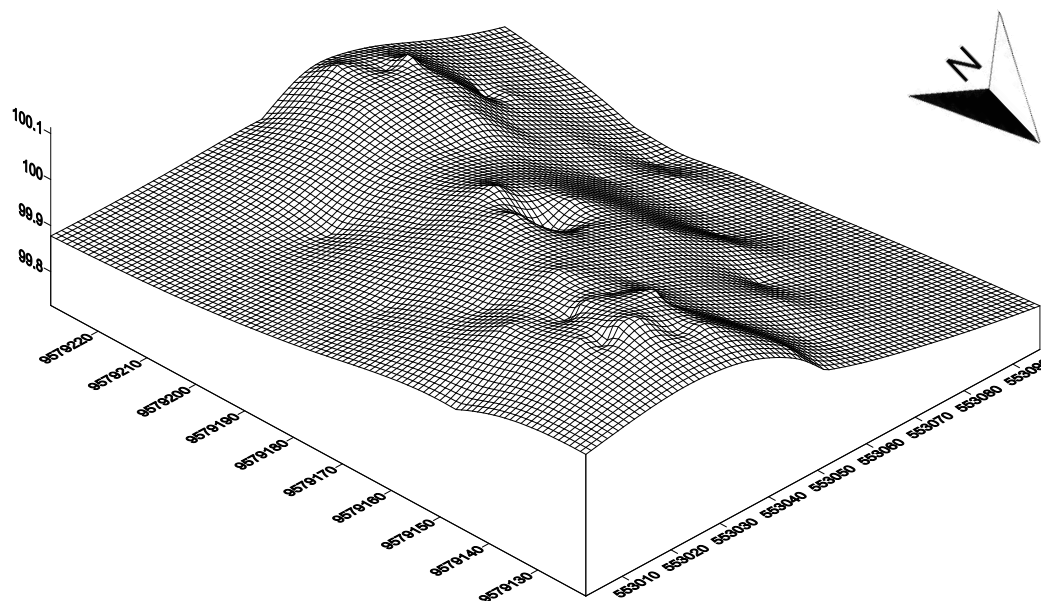


Fonte: Autor.

Essa resolução refinada permitiu identificar microvariações topográficas críticas para o escoamento superficial e a drenagem, como elevações localizadas ou depressões que poderiam acumular água. A densidade amostral adotada (79 pontos distribuídos) assegurou a representatividade espacial necessária para modelar o relevo com alta fidelidade, essencial para projetos de sistematização e manejo hídrico.

A Figura 11 apresenta um modelo tridimensional do relevo do gramado. Cabe destacar que por ocasião da reforma do estádio Castelão para a Copa das Confederações e Copa do Mundo 2014 concluída no final do ano de 2012, as declividades do solo base ou superfície do terreno ficaram com “caimentos a quatro águas” ou seja; gradientes de declives de 0,5% para as laterais e 0,5% para os gols partindo do eixo central do campo, assegurando uma retirada do excesso de água na superfície quando da ocorrência de chuvas muito intensas.

Figura 11 - Superfície de resposta do terreno.



Fonte: Autor.

Considerando que a maioria das jogadas ocorre no meio de campo e que uma intensidade de chuva maior que a capacidade de infiltração do solo provocaria um excesso de água na superfície, há a necessidade de gradientes

de declives na direção dos gols e das laterais. Trata-se de uma recomendação padrão para toda construção de estádios de alto nível (CONMEBOL, 2019 p. 15).

Desta forma tomando-se como referência as condições do plano sistematizado para a Copa do Mundo de 2014, verificam-se pequenas alterações no plano sistematizado, não obstante numa magnitude que não viria a comprometer aspectos relacionados à drenagem superficial do campo de jogo.

As práticas de manutenção, como o corte diário da grama e o *top dressing* — técnica que consiste na aplicação de uma fina camada de areia para aprimorar o nivelamento do solo —, realizado anualmente, contribuem para a preservação da qualidade do nivelamento do gramado ao longo dos anos (ITOGRASS, 2021).

4.2. Infiltração de água no solo

Na Tabela 1 são apresentados os dados coletados em campo para o estudo das características de infiltração, os quais são representados por meio da Figura 9, que expressa o comportamento da lâmina de água infiltrada acumulada (Z) em função do tempo acumulado (T), respectivamente. Verifica-se elevado valor de coeficiente de determinação (r^2) para o comportamento físico da característica de infiltração de água no solo.

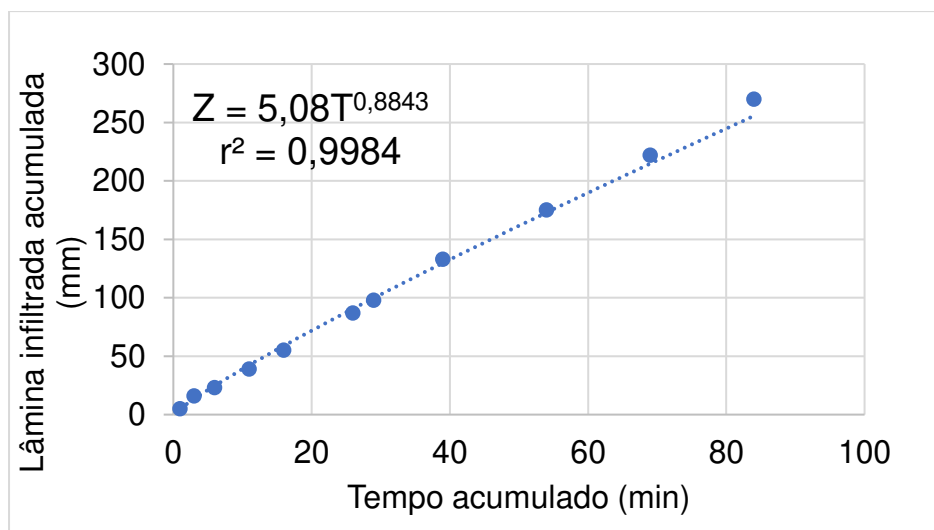
No ensaio de campo verificou-se que decorridos oitenta e quatro minutos de teste ocorreu uma lâmina de água infiltrada de 270 mm. Estudo semelhante realizado em 12/12/2012 nas proximidades do local onde este teste foi realizado, por ocasião do final da reforma do campo para a Copa das Confederações de 2013 e Copa do Mundo de 2014, apresentou valor semelhante, com uma lâmina de água infiltrada de 256 mm decorridos 76 minutos de teste (Tabela 2), demonstrando assim uma preservação das características de infiltração de água no solo, mesmo decorridos 12 anos.

Tabela 1 - Dados de campo do teste de infiltração de água no solo em 14 de janeiro de 2025.

Tempo Inst. (min)	Tempo acum. (min)	Leitura (cm)	Lâmina Inst. (cm)	Lâmina acum. (mm)
0	-	2,9	0	-
1	1	3,4	0,5	5
2	3	4,5	1,1	16
3	6	5,2	0,7	23
5	11	6,8/1,7	1,6	39
5	16	3,3	1,6	55
10	26	6,5	3,2	87
3	29	7,6/2,2	1,1	98
10	39	5,7/2,4	3,5	133
15	54	6,6/1,6	4,2	175
15	69	6,3/1,7	4,7	222
15	84	6,5	4,8	270

Fonte: Autor.

Figura 12 - Lâmina de água infiltrada em função do tempo acumulado.



Fonte: Autor.

Tabela 2 - Dados do teste realizado em 2012 nos preparativos para a Copa do Mundo de 2014 (04/12/12).

Tempo Inst. (min)	Tempo acumu. (min)	Leitura (cm)	Lâmina inst. (mm)	Lâmina acum. (mm)
0	0	2,4	0,0	0,0
1	1	3,4	10,0	10,0
2	3	4,3/2,0	9,0	19,0
3	6	3,3	13,0	32,0
5	11	5,8/2,9	25,0	57,0
5	16	3,9	10,0	67,0
10	26	5,9/0,5	20,0	87,0
10	36	6,5/2,5	60,0	147,0
10	46	7,1/1,8	46,0	193,0
10	56	3,8/1,7	20,0	213,0
10	66	3,7/1,7	20,0	233,0
10	76	3,7	23,0	256,0

Fonte: Filho, 2012.

A equação de velocidade de infiltração (q), obtida por derivação da função que expressa a infiltração acumulada (Z) em relação ao tempo acumulado (T) está expressa na equação 3 a seguir:

$$q = 269,5 \times t^{-0,1157} \quad (3)$$

sendo q : mm h^{-1} e t : minutos. Considerando um tempo de 120 minutos, tem-se um valor de velocidade de infiltração correspondente a $154,9 \text{ mm h}^{-1}$, o qual pode ser considerado como o valor da VIB (velocidade de infiltração básica), portanto muito alta.

A taxa de infiltração da água no solo é mais alta no início do processo de infiltração, particularmente, quando o solo está com déficit de umidade, mas tende a decrescer com o tempo, aproximando-se de um valor constante denominado taxa de infiltração estável (conhecida como velocidade de infiltração básica da água no solo - VIB). De acordo com Bernardo (1987), a variação da velocidade de infiltração em um mesmo solo, em razão da diferença no teor de umidade, desaparece geralmente 60 minutos depois do início da aplicação d'água. Ainda conforme Bernardo (1987), segundo a VIB de um solo, pode-se classificá-lo conforme dados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação conforme a velocidade de infiltração básica do solo.

Classes de VIB	Valores (mm h ⁻¹)
Muito alta	> 30
Alta	15 – 30
Média	5 – 15
Baixa	< 5

Fonte: Bernardo, 1987.

O comportamento do processo pode ser compreendido a partir da aplicação da Equação 4, de Darcy-Buckingham (1907), às condições de escoamento em meio não saturado.

$$q = -K_0 \frac{\delta H}{\delta Z} (\psi + Z) \quad (4)$$

No início do processo de infiltração, o valor da profundidade da frente de umedecimento é pequeno. Desta forma, ter-se-á um valor do gradiente hidráulico muito elevado e, portanto, uma taxa de infiltração alta. Com o tempo, o valor de Z vai aumentando até que o gradiente hidráulico $[(\psi+Z)/Z]$ vai tendendo a 1,0 e, conseqüentemente, a taxa de infiltração tende a um valor aproximadamente igual à condutividade hidráulica do solo saturado, a qual aproxima-se da própria VIB.

Um solo mais úmido terá, inicialmente, menor taxa de infiltração, devido ao menor gradiente hidráulico (menor diferença nos potenciais totais da água no solo), e mais rapidamente a taxa de infiltração se tornará constante (LIBARDI, 2005).

O tempo de estabilização do regime assintótico da curva de infiltração acumulada tem uma correlação muito forte com o gradiente hidráulico no solo no início do processo de infiltração. Assim, para menores valores de gradientes hidráulicos espera-se a obtenção mais rápida do regime assintótico. Contudo, nota-se que a estabilização não é total em face da própria natureza da equação utilizada, conforme FOK (1986).

No estágio inicial do ensaio, observa-se que os intervalos de coleta de dados referentes à altura da água são mais curtos. Isso ocorre devido ao elevado gradiente hidráulico presente no solo no início do processo de infiltração, condição associada ao seu baixo teor de umidade inicial. Esse gradiente intenso impulsiona uma taxa de infiltração mais acentuada na fase inicial, uma vez que a diferença de potencial entre a água superficial e o solo seco é significativa. Conforme o processo avança, o teor de água no solo aumenta, reduzindo gradativamente o gradiente hidráulico. Essa diminuição progressiva da força motriz explica a tendência assintótica da curva de velocidade de infiltração, que se estabiliza ao longo do tempo, aproximando-se de uma taxa constante característica da condutividade hidráulica do solo saturado (REICHARDT, 1990).

Como dito anteriormente por Bernardo (1987), em solos arenosos, caracterizados pela predominância de partículas de areia (diâmetro entre 0,05 e 2 mm), a VIB tende a ser alta (15–30 mm/h) ou muito alta (>30 mm/h). Essa característica está diretamente associada à estrutura granular do solo, que apresenta poros de maior diâmetro e menor superfície específica. A baixa coesão entre partículas arenosas cria espaços interconectados que facilitam o fluxo rápido da água, resultando em alta permeabilidade.

A Arena Castelão foi construída sobre uma camada superficial arenosa apoiada em um colchão drenante de brita, uma escolha técnica que explora as propriedades intrínsecas dos solos arenosos. A elevada VIB desse tipo de solo garante drenagem eficiente, evitando o encharcamento superficial mesmo durante eventos de precipitação intensa. Essa característica é fundamental em projetos esportivos, onde a acumulação de água compromete a segurança e a funcionalidade do gramado.

Relacionando com o clima a qual a Arena Castelão está submetida tende-se que Fortaleza, localizada em região tropical próxima ao equador, apresenta clima marcado por estações chuvosas concentradas na primavera-verão e estiagem no inverno, padrão típico de áreas com elevada evaporação e convecção (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007). Eventos extremos, como os 178,2 mm registrados em 24 horas no bairro Castelão em fevereiro de 2025 (9º maior volume histórico da cidade, segundo a Funceme), ilustram a intensidade das chuvas convectivas na região (VIANA, 2025). Segundo a WMO

(Organização Mundial de Meteorologia), chuvas classificadas como "muito fortes" (≥ 50 mm/h) concentram grande volume em curtos períodos, elevando riscos de alagamentos e desafios para infraestruturas urbanas (TUCCI, 2004).

No gramado da Arena Castelão, projetado com solo arenoso e colchão drenante de brita, a alta velocidade de infiltração básica ($154,9$ mm h^{-1}) garante drenagem eficiente em condições normais. Contudo, chuvas extremas (>50 mm/h) podem saturar temporariamente o solo, limitando a infiltração e gerando escoamento superficial (GUITARRARA, 2020), caso que aconteceu em abril de 2022, durante o segundo jogo da final da Copa do Nordeste entre Fortaleza e Sport Recife (Figura 13) prejudicando parcialmente o andamento do jogo (MOTA, 2022).

Figura 13 - Jogadores de Fortaleza e Sport disputam a posse de bola em uma parte do campo encharcada.



Fonte: Kid Júnior / SVM, 2022.

4.3. Condutividade hidráulica do solo saturado

Durante a realização do teste de condutividade hidráulica do solo saturado por meio da técnica do permeâmetro de carga constante, verificada a condição de fluxo permanente, coletou-se o volume de água percolada em um tempo de 10 minutos em razão de se observar a elevada transmissão de água e calculou-se a condutividade hidráulica do solo saturado conforme Equação 4 de Darcy para fluxo saturado descrita anteriormente.

Na Tabela 4 são apresentados os dados para o cálculo da condutividade hidráulica do solo saturado (K_o) relativos às quatro amostras de solo do campo de futebol do Estádio Plácido Aderaldo Castelo.

Tabela 4 - Dados para cálculo da condutividade hidráulica do solo saturado.

Variáveis	Gol Norte	Gol Sul	Prox. ao teste de infiltr.	Centro
V_A (mL)	119	108	224	102
L (cm)	7,216	7,211	7,11	7,344
A (cm ²)	39,15	38,4	38,2	39,5
h (cm)	3,489	3,437	3,489	2,045
t (min)	10	10	10	10
K_o (mm h ⁻¹)	122,9	114,3	236,0	121,0

Fonte: Autor.

De acordo com Pizarro (1985), os valores de condutividade hidráulica do solo saturado (K_o) podem ser classificados de acordo com as referências apresentadas na Tabela 5. Portanto, os valores obtidos nos testes são classificados na faixa de alta a muito alta condutividade hidráulica do solo saturado, conferindo a uma elevada capacidade de transmissão de água no perfil de solo.

Tabela 5 - Classes de condutividade hidráulica do solo saturado.

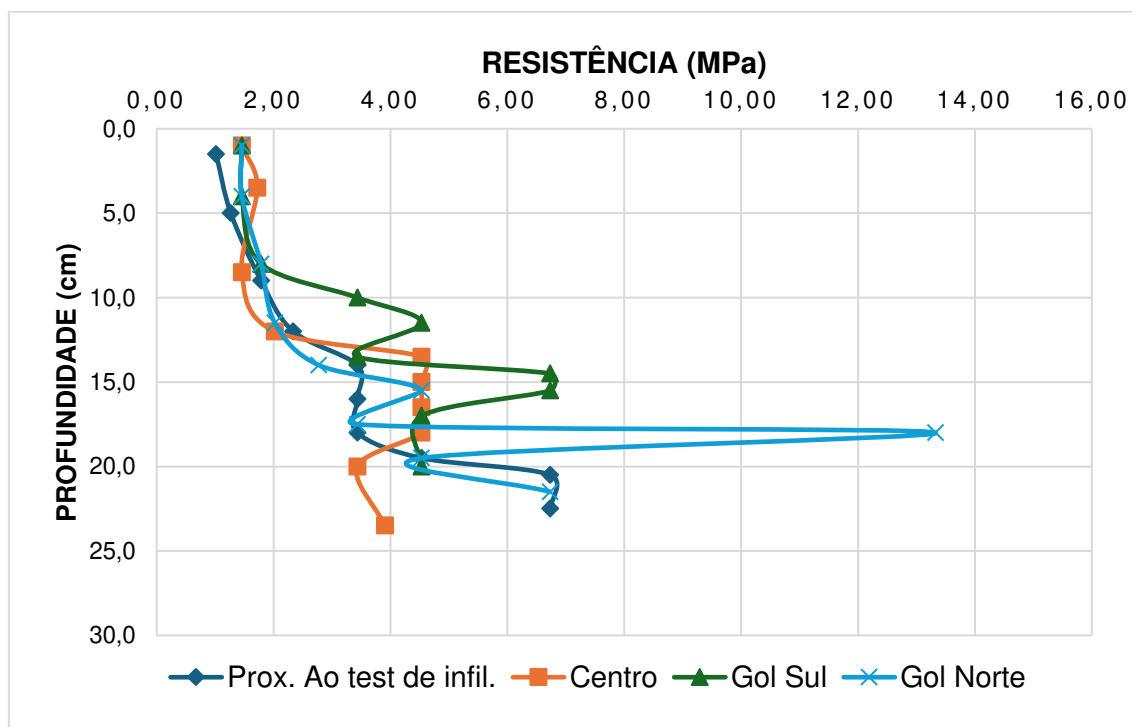
Classes de K_0	Valores (mm h^{-1})
Muito Baixa	<2,1
Baixa	2,1 – 12,5
Média	12,5 – 41,7
Alta	41,7 – 208,3
Muito alta	> 208,3

Fonte: Pizarro, 1985.

4.4. Avaliação da resistência à penetração

As tabelas no apêndice A, contém os dados brutos (impactos e profundidades) e os respectivos cálculos de resistência à penetração (MPa) em função da profundidade nos quatro locais analisados. Respective resultados são ilustrados nas Figura 14.

Figura 14 - Resistência do solo a penetração nos demais pontos.



Fonte: Autor.

Os dados de resistência do solo à penetração, obtidos nos quatro pontos distintos, revelaram variações significativas, sendo todos comparados com os valores de classificação de resistência à penetração apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Classificação da resistência à penetração do solo

Classes	Limites (MPa)	Limitação ao crescimento das raízes
Muito baixa	≤1,0	Sem limitação
Baixa	1,1 a 2,50	Pouca limitação
Média	2,6 a 5,00	Algumas limitações
Alta	5,1 a 10,00	Sérias limitações
Muito alta	10,10 a 15,00	Raízes praticamente não crescem
Extremamente alta	>15,00	Raízes não crescem

Fonte: Canarache (1990).

O local próximo ao teste de infiltração apresentou valores de resistência baixos a médios na camada de 0 a 20 cm de profundidade, aumentando para a classe alta após essa profundidade. Isso indica que a zona de crescimento das raízes (0-20 cm) oferece condições favoráveis ao seu desenvolvimento, tornando-se mais restritiva a partir dos 20 cm.

Já os pontos localizados no gol sul e gol norte exibiram os maiores índices de resistência ao longo do perfil, chegando a apresentar valores que classificam a camada de 10-20 cm como de alta resistência à penetração. Esses resultados provavelmente estão associados ao intenso pisoteio nessas regiões durante atividades esportivas, comum em áreas próximas aos gols, onde há maior concentração de jogadores. A compactação excessiva nesses locais pode comprometer o desenvolvimento radicular das gramíneas e a eficiência hídrica, conforme observado por Carrow & Duncan (2011) em campos de futebol profissionais.

O ponto localizado no centro do campo, por sua vez, mostrou valores mais baixos e homogêneos de resistência, indicando uma compactação média na camada de 10-20 cm. Essa condição pode ser favorável à infiltração de água e à saúde do gramado, porém está no limite para apresentar valores que possam causar restrição ao crescimento de raízes.

As diferenças observadas entre os pontos ressaltam a importância do monitoramento contínuo e da adoção de estratégias de manejo específicas. Por exemplo, áreas com resistência elevada, como as próximas aos gols, exigem intervenções como a aeração para evitar o aumento desses valores ao longo do tempo. Além disso, a correlação entre os dados do teste de resistência a penetração e da condutividade hidráulica evidencia padrões entre os pontos analisados, uma vez que as regiões próximas aos gols e ao centro apresentaram valores semelhantes e inferiores ao do ponto próximo ao teste de infiltração. Embora esses valores sejam elevados e considerados ideais para gramados esportivos, eles demonstram a relação entre a alta resistência à penetração e uma menor infiltração nesses locais.

As análises demonstraram que os maiores índices de resistência à penetração foram identificados nas regiões próximas às duas áreas de meta. Esse padrão corrobora os achados de Alfonsi (2015), que, ao estudar a distribuição espacial da compactação em campos de futebol, registrou picos de resistência à penetração justamente nas proximidades de uma das metas. Segundo o autor, essas áreas estão entre as mais susceptíveis à compactação, devido à intensa movimentação e ao pisoteio recorrente dos jogadores durante as partidas, fatores que reduzem a porosidade do solo e aumentam sua densidade.

A produtividade dos gramados esportivos está intrinsecamente ligada a fatores ambientais e manejo, como condições climáticas, características do solo e escolha da espécie vegetal. Dentre esses elementos, o solo destaca-se como um componente crítico: alterações em sua estrutura física, como a compactação, podem comprometer drasticamente o desenvolvimento das gramíneas.

Um estudo pioneiro de Carrow (1980) investigou os efeitos da compactação mecânica (realizada com rolo compactador) em três espécies de gramas de clima frio, revelando que todas apresentaram redução significativa em parâmetros morfofisiológicos e de tolerância ao estresse, independentemente da espécie analisada. Os resultados demonstraram que o aumento da densidade do solo reduz a porosidade, limitando a disponibilidade de oxigênio e água para as raízes e, conseqüentemente, inibindo o crescimento vegetal.

Apesar do estudo de Carrow (1980) focar em gramas de clima frio, os princípios sobre os impactos da compactação do solo são igualmente relevantes para gramas de clima quente, como é o caso da grama que é utilizada no Castelão, a Bermuda *Celebration* (*Cynodon dactylon*). Essa espécie, assim como as outras espécies de clima quente adaptadas a temperaturas elevadas, também dependem criticamente da estrutura física do solo para seu desenvolvimento. Gramas de clima quente geralmente exigem práticas de aeração mais frequentes em solos de tráfego intenso, como em estádios, já que seu metabolismo C4, mais ativo em altas temperaturas, demanda maior troca gasosa no solo.

A Federação Internacional de Futebol Associado (FIFA), entidade máxima do futebol mundial fundada em 1904, desempenha um papel central na regulamentação, organização e promoção do esporte em escala global (MARTINS, 2017). Além de gerir competições icônicas, como a Copa do Mundo, a FIFA estabelece padrões técnicos rigorosos para infraestruturas esportivas, garantindo que estádios e gramados atendam a critérios internacionais de segurança, desempenho e durabilidade. Esses padrões são essenciais não apenas para a integridade do jogo, mas também para proteger a saúde dos atletas e assegurar condições equitativas em competições de elite.

Um dos pilares desse esforço é o *FIFA Quality Programme for Football Turf*, programa criado para certificar gramados naturais e artificiais. Para obter a certificação, os gramados passam por uma sequência de avaliações técnicas entre testes laboratoriais e testes de campo. Em síntese, a FIFA consolida-se não apenas como guardiã das regras do jogo, mas como agente de excelência técnica. Seus protocolos de certificação garantem que o futebol seja praticado em ambientes seguros, previsíveis e adaptados às demandas do esporte moderno, reforçando sua posição como fenômeno global unificador (FIFA, 2021).

O sistema de classificação avalia cada característica quantificável do gramado em uma escala que varia de "inaceitável" a "excelente".

Entre os critérios definidos por esse programa estão os testes de infiltração e resistência à penetração, juntamente com seus valores recomendados. Os "caimentos" de 0,5% para as laterais e 0,5% para os gols

partindo do eixo central do campo no nivelamento do gramado para escoamento superficial, também são uma recomendação de padronização da FIFA.

Esses parâmetros serão utilizados neste estudo como referência comparativa, permitindo a análise dos resultados obtidos em relação aos padrões estabelecidos pela FIFA (Tabela 7).

Tabela 7 - Tabela do sistema de avaliação dos parâmetros de resistência à penetração e infiltração (Adaptado).

Característica	Inaceitável	Baixa Qualidade	Qualidade Satisfatória	Boa Qualidade	Excelente
Resistência a penetração	<1,5 MPa ou >7,0 MPa	6,01 - 7,0 MPa	4,0 - 6,0 MPa	3,01 - 4,0 MPa	1,5 - 3,0 MPa
Taxa de infiltração	<40 mm/h	40 - 50 mm/h	51 - 100 mm/h	101 - 150 mm/h	>150 mm/h

Fonte: FIFA, 2022.

Com base nos valores das Tabelas 8, 9, 10 e 11 do apêndice A, é possível avaliar a condição do gramado da Arena Castelão de acordo com as recomendações da FIFA. O ponto localizado no centro do campo (Tabela 7) foi o único que não apresentou valores classificados como "baixa qualidade" ao longo do perfil, mantendo-se entre as categorias "qualidade satisfatória" e "boa qualidade". No entanto, os demais pontos apresentaram, em algum momento do perfil, índices de "baixa qualidade". Destaca-se ainda que, no gol norte (Tabela 9), foi registrado um valor classificado como "inaceitável".

Quanto à condutividade hidráulica do solo saturado, todos os pontos analisados foram classificados como de "boa qualidade", exceto o ponto próximo ao teste de infiltração, que recebeu a classificação de "excelente".

5 CONCLUSÃO

Há necessidade de ajustes no plano sistematizado, em especial no lado oeste, tomando como referência o eixo central do campo, como forma de recompor as declividades do solo base ou superfície do terreno para gradientes de declives de 0,5% para as laterais e 0,5% para os gols, conforme foram estabelecidos para a Copa do Mundo de 2014. Para isso tem a técnica de *top dressing*, muito utilizada no nivelamento de gramados, principalmente em gramados esportivos;

A velocidade de infiltração de água no solo com valor de $154,9 \text{ mm h}^{-1}$ é classificada como “muito alta”, preservando as características de infiltração de água no solo, mesmo decorridos 12 anos da reforma nas condições estruturais do campo;

Os valores de condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) estão classificados na faixa de “alta a muito alta” capacidade de transmissão de água no perfil de solo, se constituindo em um atributo favorável a uma drenagem efetiva no perfil do solo;

Em geral, limitações ao crescimento radicular surgem a partir da profundidade de 0,12 m, em especial nas regiões próximas às duas áreas das metas. A maioria dos pontos analisados varia entre as classificações de “boa qualidade” e “baixa qualidade” ao longo do perfil, conforme os critérios estabelecidos pela FIFA.

REFERÊNCIAS

ALFONSI, L. G.; GODOY, L. J. G.; TIBÃES L. M.; LATORRE, A. S.; BENTO M. S. **Distribuição espacial da compactação do solo e índice de vegetação por diferença normalizada em campo de futebol**. Botucatu: Viisigra - Simpósio Sobre Gramados, 2015.

ALI HARIVANDI, M. **Turfgrass traffic and compaction: problems and solutions**. Berkeley: University of California, Agriculture and Natural Resources, 2002. 6 p.

ALMEIDA JUNIOR, J. M. **Revisão de literatura: Métodos de levantamento planialtimétrico para fins de manejo de irrigação**. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2023.

ARENA Castelão recebe visita para a seleção das cidades-sede da Copa do Mundo Feminina da FIFA 2027. Fortaleza: Sesporte, 2024. Disponível em: <https://www.esporte.ce.gov.br/2024/10/08/arena-castelao-recebe-visita-para-a-selecao-das-cidades-sede-da-copa-do-mundo-feminina-da-fifa-2027/#:~:text=%E2%80%9CEstamos%20entusiasmados%20com%20a%20visita,futebol%20e%20amam%20a%20modalidade>. Acesso em: 11 jan. 2025.

BARBOSA, F. **Gramado da Arena Castelão recebe nova vitória técnica da Conmebol**. Fortaleza: Opinião Ce, 2024. Disponível em: <https://www.opinioce.com.br/gramado-da-arena-castelao-recebe-nova-vitoria-tecnica-da-conmebol/>. Acesso em: 16 dez. 2024.

BENNIE, A.T.P. Growth and mechanical impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.) **Plant roots: the hidden half**. 2.ed. New York: Marcel Dekker, 1996. 453-470 p.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 4.ed. Viçosa: Editora UFV, 1987. 488 p.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração de água no solo**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 120p.

BUCKINGHAM, E. **Studies on the movement of soil moisture**. Washington, USDA, 1907. 61p.

CALDAS, A. B. **Veja fotos do show de Maria Bethânia e Caetano Veloso em Fortaleza**: com arena castelão lotada, show da turnê dos irmãos baianos começou pontualmente 21 horas. Fortaleza: Diário do Nordeste, 2024. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/verso/veja-fotos-do-show-de-maria-bethania-e-caetano-veloso-em-fortaleza-1.3583655>. Acesso em: 11 jan. 2025.

CANARACHE, A. **Penetrometer - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration**. Soil Till. Res., 16:51-70, 1990.

CARROW, R. N. **Influence of soil compaction on three turfgrass species.** Manhattan: Agronomy Journal, v.72, n.6 p.1038-1042, nov-dez. 1980.

CARROW, R.N. **Soil compaction.** Manhattan: Golf course management, 1981. 59-66 p.

CARROW, R. N., & DUNCAN, R. R. **Best Management Practices for Saline and Sodic Turfgrass Soils: Assessment and Reclamation.** 1.ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/b11186>. Acesso em: 15 fev. 2025.

COMO melhorar o nivelamento do gramado: Conheça a técnica Top Dressing. [S. L.]: Itograss, 2021. Disponível em: <https://itograss.com.br/noticias/como-melhorar-o-nivelamento-do-gramado-conheca-a-tecnica-top-dressing/>. Acesso em: 15 fev. 2025.

COSTA, I. **Zico exalta ascensão do futebol cearense no cenário nacional e internacional.** Fortaleza: Portal O Povo, 2024. Disponível em: <https://www.opovo.com.br/esportes/futebol/2024/01/15/zico-exalta-ascensao-do-futebol-cearense-no-cenario-nacional-e-internacional.html>. Acesso em: 11 jan. 2025.

DE CARVALHO, L. A. **Condutividade Hidráulica do solo no campo:** as simplificações do método do perfil instantâneo. Piracicaba: ESALQ, 2002. 3 p.

DIAS, A. L.; SARAIVA, A. G. S.; GADELHA, A. G.; SOUZA, R. F.; GUIMARÃES, C. L. **Utilização de Estação Total para a Execução de Levantamentos Altimétricos Compatíveis com a Classe IIN da NBR 13133.** Recife-PE: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésica e Tecnologia da Geoinformação, 2010. 1-6 p.

DOS SANTOS, P. L. F.; DO NASCIMENTO, M. V. L.; COSTA, J. V. **Implantação de Gramados Esportivos Leia mais em.** [S. l.]: Grama Legal, 2020. Disponível em: <https://gramalegal.com/blog/implantacao-de-gramados-esportivos>. Acesso em: 12 fev. 2025.

DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F.; MIRANDA, J. H.; MEDEIROS, J. F.; COSTA, R. N. T.; GHEYI H. R. **Fundamentos de drenagem agrícola.** Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2015. 23 p.

ELLIES, A.; GREZ, R.; RAMIREZ, C. **La conductividad hidráulica en fase saturada como herramienta par el diagnostico de la estructura del suelo.** Valdivia: Universidad Austral de Chile, 1997. Disponível em: <http://revistas.uach.cl/html/agrosur/v25n1/body/art06.htm>. Acesso em 23 jan. 2025.

FIFA natural - pitch rating: system natural playing surfaces quality programme. [S. l.]: FIFA.com, 2022.

FIFA quality programme for natural playing surfaces. [S. l.]: Fifa.com, 2021.

FILHO, A. A. N. **Diagnóstico das características de transmissão de água no solo do Estádio Governador Magalhães Pinto - Mineirão.** Fortaleza: Cetrede, 2014. 2 p

FOK, Y. S. Derivation of Lewis-Kostiakov intake equation. **Journal of Irrigation and Drainage.** [S. l.]: n. 112 (IR2), p. 164-171, 1986.

GUÍA básico de preparación de campo de futebol. [S. l.]: Conmebol, 2019. 15p.

GUIARRARA, P. **Chuvas.** [S. l.]: Brasil Escola, 2020? Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/chuvas-precipitacoes.htm>. Acesso em 28 de fevereiro de 2025.

HISTÓRIA da Arena Castelão. Fortaleza: Castelão, 2015. Disponível em: https://www.arenacastelao.net/historia-da-arena-castelao/#google_vignette. Acesso em: 09 jan. 2025.

KARMELI, D.; SALAZAR, J. L. & WALKER, W.R. **Assessing the Spatial Variability of Irrigation Water Applications.** Colorado: Department of Agricultural Engineering Colorado State University, 1978. 20 p.

LAM, N. **Digital elevation model technologies and applications: The DEM user's manual.** [S. l.]: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2009.

LETEY, J. **Relationship between soil physical properties and crop production.** [S. l.]: Advances in Soil Science, 1985. 279 p.

LI, J.; HEAP, A. **A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors.** Ecological Informatics. [S. l.]: v.3, n.4 p. 299-309, 2008.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo.** São Paulo: EDUSP - Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 344 p.

MANAGING thatch. Ithaca, New York: Cornell Cals - Cornell University, 2023? Disponível em: <https://safesportsfields.cals.cornell.edu/routine-care/managing-thatch/#:~:text=Improper%20pH%2C%20compacted%20soils%20and,within%20the%20turf%20manager's%20control>. Acesso em: 28 fev. 2025.

MARINHO, F. **Lei de Darcy e coeficiente de permeabilidade do solo.** [S. l.]: Guia de Engenharia, 2020. Disponível em:

<https://www.guiadaengenharia.com/lei-darcy-permeabilidade-solo/>. Acesso em: 23 jan. 2025.

MARTINS, G. C. **A história da FIFA na década de 1920**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2017.

MASLE, J.; PASSIOURA, J.B. **The effect of soil strength on the growth of young wheat plants**. [S. l.]: Australian Journal of Plant Physiology, 1987. v.14, 643- 656 p. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/FP/PP9870643>. Acesso em: 26 de fev de 2025.

MAZZA, M. L. **Arena Castelão completa 10 anos do primeiro jogo após sua modernização para a Copa do Mundo**. Fortaleza: Sesporte, 2023. Disponível em: <https://www.esporte.ce.gov.br/2023/01/27/arena-castelao-completa-10-anos-do-primeiro-jogo-apos-sua-modernizacao-para-a-copa-do-mundo/>. Acesso em: 09 jan. 2025

MENDONÇA, F. A.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MEROTTO, A.; MUNDSTOCK, C.M. **Wheat root growth as affected by soil strength**. [S. l.]: Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, p.197-202 1999.

MOTA, A. **Encharcado, gramado do Castelão recebe intervenção na véspera de Ceará x Independente**. Fortaleza: Diário do Nordeste, 2022. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/opiniao/colunistas/alexandre-mota/encharcado-gramado-do-castelao-recebe-intervencao-na-vespera-de-ceara-x-independente-veja-detalle-1.3213236>. Acesso em: 28 fev. 2025.

NOVO gramado da Arena Castelão recebe primeiro corte; entrega é prevista para março. Fortaleza: Sesporte, 2023. Disponível em: <https://www.esporte.ce.gov.br/2023/01/09/novo-gramado-da-arena-castelao-recebe-primeiro-corte-entrega-e-prevista-para-marco/>. Acesso em: 27 fev. 2025.

PENHA, A. L. T.; COELHO, V. B. N. **Simulação de Monte Carlo em redes triangulares irregulares**. [S. l.]: Brazilian Journal of Development, v.7, n.10, 2021.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. 2.ed. Madrid: Agrícola Española, 1985. 542p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Piracicaba: Monoele Ltda., 1990. 79-80 p.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. & SAMPAIO, F. M. T. **Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de**

seis classes de solos da região de Lavras-MG. Ciência Agrotécnicas. Lavras, v. 31, n.4, p. 1167 - 1175, 2007.

SAKAGUCHI, A.; NISHIMURA, T. & KATO, M. **The Effect of Entrapped Air on the Quasi-Saturated Soil Hydraulic Conductivity and Comparison with the Unsaturated Hydraulic Conductivity.** Vadose Zona J. v. 4, fev. 2005. p.139 - 144.

SENA, H. **Em 2024, Fortaleza leva mais de 1 milhão de torcedores aos estádios como mandante.** Fortaleza: Anc, 2024. Disponível em: <https://anoticiadoceara.com.br/em-2024-fortaleza-leva-mais-de-1-milhao-de-torcedores-aos-estadios-como-mandante/>. Acesso em: 11 jan. 2025.

STOLF, R. **Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo.** Campinas: Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.15, p.229-235, 1991.

TUCCI, C. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, 3 ed. Porto Alegre: UFRGS, 2004

VIANA, T. **Chuva em Fortaleza entre quinta (27) e sexta (28) é uma das 10 maiores da história da cidade; relembre.** Fortaleza: Diário do Nordeste, 2025. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/ceara/chuva-em-fortaleza-entre-quinta-27-e-sexta-28-e-uma-das-10-maiores-da-historia-da-cidade-relembre-1.3624653>. Acesso em: 28 fev. 2025.

WMO. **Guide to Instruments and Methods of Observation: Volume I – Measurement of Meteorological Variables.** Genebra, Suíça: Organização Meteorológica Mundial, no. 8, 7 ed. 2018. 618p.

APÊNDICE A – DADOS BRUTOS - TESTE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO.

Tabela 1 - Resistência à penetração no ponto próximo ao teste de infiltração.

Impactos	Profundidade (cm)	Penetração (cm)	Impactos /dm	kgf / cm ²	MPa
1	1,5	1,5	6,67	10,36	1,02
3	5,0	3,5	8,57	12,93	1,27
5	9,0	4,0	12,50	18,21	1,79
5	12,0	3,0	16,67	23,81	2,34
5	14,0	2,0	25,00	35,02	3,43
5	16,0	2,0	25,00	35,02	3,43
5	18,0	2,0	25,00	35,02	3,43
5	19,5	1,5	33,33	46,23	4,53
5	20,5	1,0	50,00	68,65	6,73
10	22,5	2,0	50,00	68,65	6,73

Fonte: Autor.

Tabela 2 - Resistência à penetração no centro do campo.

Impactos	Profundidade (cm)	Penetração (cm)	Impactos /dm	kgf/ cm ²	MPa
1	1,0	1,0	10,00	14,85	1,46
3	3,5	2,5	12,00	17,54	1,72
5	8,5	5,0	10,00	14,85	1,46
5	12,0	3,5	14,29	20,61	2,02
5	13,5	1,5	33,33	46,23	4,53
5	15,0	1,5	33,33	46,23	4,53
5	16,5	1,5	33,33	46,23	4,53
5	18,0	1,5	33,33	46,23	4,53
5	20,0	2,0	25,00	35,02	3,43
10	23,5	3,5	28,57	39,83	3,91

Fonte: Autor.

Tabela 3 - Resistência à penetração no gol sul.

Impactos	Profundidade (cm)	Penetração (cm)	Impactos /dm	kgf/ cm ²	MPa
1	1,0	1,0	10,00	14,85	1,46
3	4,0	3,0	10,00	14,85	1,46
5	8,0	4,0	12,50	18,21	1,79
5	10,0	2,0	25,00	35,02	3,43
5	11,5	1,5	33,33	46,23	4,53
5	13,5	2,0	25,00	35,02	3,43
5	14,5	1,0	50,00	68,65	6,73
5	15,5	1,0	50,00	68,65	6,73

5	17,0	1,5	33,33	46,23	4,53
10	20,0	3,0	33,33	46,23	4,53

Fonte: Autor.

Tabela 4 - Resistência à penetração no gol norte.

Impactos	Profundidade (cm)	Penetração (cm)	Impactos /dm	kgf/ cm ²	MPa
1	1,0	1,0	10,00	14,85	1,46
3	4,0	3,0	10,00	14,85	1,46
5	8,0	4,0	12,50	18,21	1,79
5	11,5	3,5	14,29	20,61	2,02
5	14,0	2,5	20,00	28,30	2,77
5	15,5	1,5	33,33	46,23	4,53
5	17,5	2,0	25,00	35,02	3,43
5	18,0	0,5	100,00	135,90	13,33
5	19,5	1,5	33,33	46,23	4,53
10	21,5	2,0	50,00	68,65	6,73

Fonte: Autor.