

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

Raul Felipe Rocha dos Santos¹, Hellen Karine Gomes Moreira², Raimundo Nonato Távora Costa³, José Arnaldo Farias Sales⁴, Pedro Victor Veras Paiva⁵.

RESUMO: O estudo foi realizado no gramado da Arena Castelão (Fortaleza-CE), com objetivo geral de diagnosticar o plano sistematizado (topografia) e atributos físicos do solo quanto à drenagem superficial, transmissão hídrica e resistência mecânica. Os objetivos específicos foram: Mapear a topografia para avaliar a eficiência do escoamento superficial; quantificar a velocidade de infiltração básica do solo (VIB) e condutividade hidráulica do solo saturado (K_o) e identificar camadas compactadas via resistência à penetração. A topografia foi analisada com estação total (83 pontos) e os softwares DataGeosis e Surfer; a infiltração pelo método do cilindro-infiltrômetro; a K_o com permeâmetro de carga constante e a resistência do solo à penetração com um penetrômetro de impacto. Os resultados indicam que há ocorrência de declividades irregulares no lado oeste (contrariando o padrão FIFA de 0,5%); VIB de 154,9 mm h⁻¹ ("muito alta"); K_o entre 114,3–236,0 mm h⁻¹ ("alta a muito alta"); resistência à penetração crítica (>4,53 MPa) abaixo de 0,12m próximo aos gols. Conclui-se que ajustes topográficos e manejo da compactação são essenciais para manter padrões internacionais de segurança e desempenho. PALAVRAS-CHAVE: Drenagem; Infiltração; Compactação.

EVALUATION OF THE SYSTEMATIZED PLAN AND PHYSICAL ATTRIBUTES OF THE SOIL OF THE ARENA CASTELÃO TURF IN FORTALEZA-CE

ABSTRACT: The study was conducted on the turf of Arena Castelão (Fortaleza-CE, Brazil), with the general objective of diagnosing the systematized plan (topography) and physical soil attributes regarding surface drainage, water transmission, and mechanical resistance. Specific

¹ Engenheiro Agrônomo, Universidade Federal do Ceará – Campus do Pici, Av. Humberto Monte, 60455-760, Fortaleza, Ceará – Brasil, Fone (85) 99838-8971. E-mail: raulfeliperocha@outlook.com

² Mestranda em Engenharia Agrícola, Depto de Engenharia Agrícola, UFC – Campus do Pici, Fortaleza, Ceará

³ Prof. Doutor, Depto de Engenharia Agrícola, UFC – Campus do Pici, Fortaleza, Ceará

⁴ Eng. Agrônomo, Depto de Engenharia Agrícola, UFC – Campus do Pici, Fortaleza, Ceará

⁵ Doutorando em Engenharia Agrícola, Depto de Engenharia Agrícola, UFC - Campus do Pici, Fortaleza, Ceará

objectives were: To map topography to evaluate surface drainage efficiency; To quantify basic infiltration velocity (VIB) and saturated hydraulic conductivity (Ko); To identify compacted layers via penetration resistance. Topography was analyzed using a total station (83 points) and DataGeosis/Surfer software; infiltration via double-ring infiltrometer method; Ko with a constant head permeameter; and resistance with an impact penetrometer. Results indicate: irregular slopes on the west side (contrary to FIFA's 0.5% standard); VIB of 154.9 mm h⁻¹ ("very high"); Ko between 114.3–236.0 mm h⁻¹ ("high to very high"); critical penetration resistance (>4.53 MPa) below 0.12 m near goal areas. It is concluded that topographic adjustments and compaction management are essential to maintain international safety and performance standards. KEYWORDS: Drainage; Infiltration; Compaction.

INTRODUÇÃO

A Arena Castelão, inaugurada em 1973 e modernizada em 2012 para a Copa do Mundo FIFA 2014, é o quarto maior estádio do Brasil, com capacidade para 63.903 espectadores. Em 2024, sediou 63 jogos oficiais e um grande show, reafirmando sua importância como palco de competições nacionais e internacionais, como a Libertadores, Copa Sul-Americana e Campeonato Brasileiro (SESPORTE, 2024).

Desde sua reforma em 2013, a Arena Castelão tornou-se um dos principais palcos esportivos do Brasil, acumulando 695 partidas até o fim da temporada de 2024 (MAZZA, 2023). Com média de 58 jogos por ano, o estádio destaca-se pela intensa frequência de uso e por sua importância estratégica na realização de competições regionais e nacionais. Esse volume de atividades evidencia não apenas a qualidade da infraestrutura implantada, mas também há uma demanda por reparos contínuos do gramado para garantir desempenho, segurança e durabilidade, reforçando o papel do Castelão como legado funcional para o esporte brasileiro.

No final de 2022, a Arena Castelão passou por uma modernização completa em seu gramado, com o objetivo de aumentar sua funcionalidade, resistência e eficiência diante das exigências de grandes eventos esportivos. As intervenções, iniciadas em 14 de novembro, seguiram um planejamento técnico dividido em três etapas. Primeiramente, foi realizada a remoção total do gramado antigo e das camadas de areia e brita, expondo as tubulações de drenagem originais. Em seguida, o sistema de drenagem foi ampliado em 100%, passando de 1.850 para 3.700 metros de tubulação no formato de espinha de peixe, o que dobrou a

capacidade de escoamento de água. Após essa renovação subterrânea, procedeu-se à recomposição do solo com novas camadas de brita e areia, seguidas por um nivelamento a laser para garantir precisão topográfica. Por fim, foram implantadas novas mudas de grama e executado um plano de manejo específico para o enraizamento, juntamente com a atualização do sistema de irrigação automatizada, otimizando a eficiência no uso da água (NOVO, 2023).

A recente candidatura à sede da Copa do Mundo Feminina 2027 reforça a necessidade de manutenção técnica contínua, especialmente do gramado, onde o uso intensivo compromete a integridade da grama (*Cynodon dactylon* cv. Celebration) e do solo, favorecendo a compactação. Esse processo afeta a segurança dos atletas, o desempenho da bola e a eficiência da drenagem, agravando-se em eventos pluviométricos intensos.

Diante disso, este estudo avaliou três aspectos fundamentais para o desempenho do gramado: o escoamento superficial, a capacidade de infiltração (por meio da velocidade de infiltração básica e da condutividade hidráulica do solo saturado – K_0) e o grau de compactação do solo, medido por testes de resistência à penetração. Os dados obtidos oferecem base técnica para ações corretivas, contribuindo para a qualidade e a sustentabilidade do campo em diferentes condições de uso.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo foi o gramado da Arena Castelão, com amostragem em quatro pontos georreferenciados: gol norte, gol sul, centro do campo e próximo do local de um teste de infiltração realizado no ano de 2012.

Para a análise topográfica do relevo do campo, foram coletados 83 pontos altimétricos com Estação Total Ruide RTS-820, pelo método de irradiação, visando representar o relevo do campo com precisão. Os dados brutos foram processados no software DataGeosis para obtenção das coordenadas UTM e, em seguida, transferidos para o Surfer 8.0 para gerar curvas de nível com equidistância vertical de 0,02 m. A interpolação espacial foi obtida por Krigagem Ordinária ou Inverso da Distância Ponderada, conforme configuração do projeto.

A velocidade de infiltração básica (VIB) foi determinada pelo método de Reichardt (1990), onde os valores de lâminas de água infiltradas acumuladas em função do tempo acumulado foram analisados por meio de regressão, conforme modelo estatístico potencial, que melhor se ajusta ao comportamento físico do processo de infiltração, na forma de:

$$Z = KTa \quad (1)$$

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;

$$q = dZ/dT \quad (2)$$

Portanto:

$$q = K'.Tn \quad (3)$$

em que,

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

T: Tempo acumulado, min;

K' e n: parâmetros empíricos do modelo.

Foram coletadas amostras indeformadas em quatro pontos georreferenciados do campo para análise da condutividade hidráulica do solo saturado (Ko), utilizando permeâmetro de carga constante com frasco de Mariotte. As amostras foram saturadas por 24 h antes do teste. A condutividade foi calculada pela equação:

$$Ko=(Va.L)/(A.t(h+L)) \quad (4)$$

em que,

Va: 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.

No ensaio de resistência do solo à penetração utilizou-se um penetrômetro de impacto (Stolf, 1991) em quatro pontos georreferenciados, obtendo-se o número de golpes por decímetro (N). A resistência do solo (R) foi calculada pela fórmula: $R \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 5,6 + 6,89N$, depois convertida para MPa. Os impactos foram divididos pela profundidade (cm) e ajustados para dm antes de aplicar a equação. Os cálculos foram realizados em planilha Excel, considerando a área do cone (2,27 cm²) e a padronização das unidades.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A análise topográfica (Figura 1) identificou uma declividade média de 0,5%, alinhada ao padrão dos gramados (CONMEMBOL, 2019) para escoamento superficial eficiente. Contudo, no setor oeste (usando como referência o meio de campo para o sentido sul), verificaram-se aclives de 0,2%, configurando uma condição inversa às diretrizes internacionais, o que compromete a drenagem natural.

A alta densidade amostral adotada (79 pontos distribuídos) possibilitou uma modelagem precisa do relevo, revelando micro variações topográficas relevantes para o escoamento superficial e a drenagem, como pequenas elevações ou depressões com potencial de acúmulo de água. Esses resultados reforçam a importância de levantamentos detalhados para orientar intervenções no manejo hídrico e na sistematização do campo, contribuindo para a funcionalidade do gramado em condições de uso intensivo.

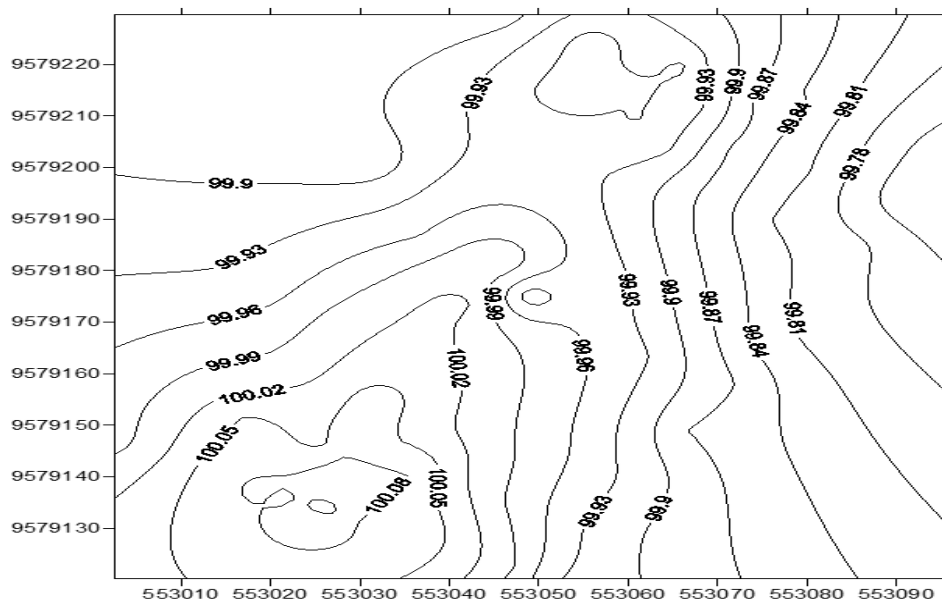


Figura 1 - Curvas de nível do gramado da Arena Castelão em 05 de novembro de 2024.

No teste de infiltração realizado em campo, observou-se uma lâmina de água infiltrada de 270 mm após 84 minutos. Resultado semelhante foi registrado em 2012, com 256 mm em 76 minutos, indicando que as condições de infiltração do solo se mantiveram estáveis mesmo após 12 anos (Figura 2).

Observou-se que a taxa de infiltração da água no solo apresentou valores mais elevados nos primeiros momentos da aplicação, comportamento típico de solos com déficit de umidade inicial. Com o avanço do tempo, essa taxa reduziu progressivamente até estabilizar-se, atingindo a chamada velocidade de infiltração básica (VIB). Esse padrão confirma a tendência

descrita por Bernardo (1987), segundo a qual a influência da umidade inicial do solo sobre a taxa de infiltração tende a desaparecer aproximadamente 60 minutos após o início da aplicação de água. A estabilização da VIB é um indicativo de que o solo atingiu uma condição próxima à saturação, sendo esse parâmetro fundamental para o dimensionamento de sistemas de irrigação e avaliação da capacidade de absorção hídrica do solo.

Verificou-se que, no início do processo de infiltração, a profundidade da frente de umedecimento (Z) é reduzida, o que resulta em um gradiente hidráulico elevado e, conseqüentemente, em uma taxa de infiltração inicial bastante alta. À medida que a água continua a infiltrar, o valor de Z aumenta progressivamente, fazendo com que o gradiente hidráulico $[(\Psi+Z)/Z]$ tenda a 1,0. Com isso, a taxa de infiltração decresce até atingir valores próximos à condutividade hidráulica do solo saturado. Esse comportamento corrobora com a afirmação de Fok (1986), os quais indicam o tempo necessário para a estabilização da curva de infiltração acumulada, isto é, a aproximação do regime assintótico que está fortemente correlacionado com o gradiente hidráulico no solo. Assim, em situações com menores gradientes hidráulicos, observa-se uma tendência à estabilização mais rápida da infiltração.

No entanto, ressalta-se que essa estabilização não é absoluta, dada a própria limitação da equação utilizada para representar esse fenômeno.

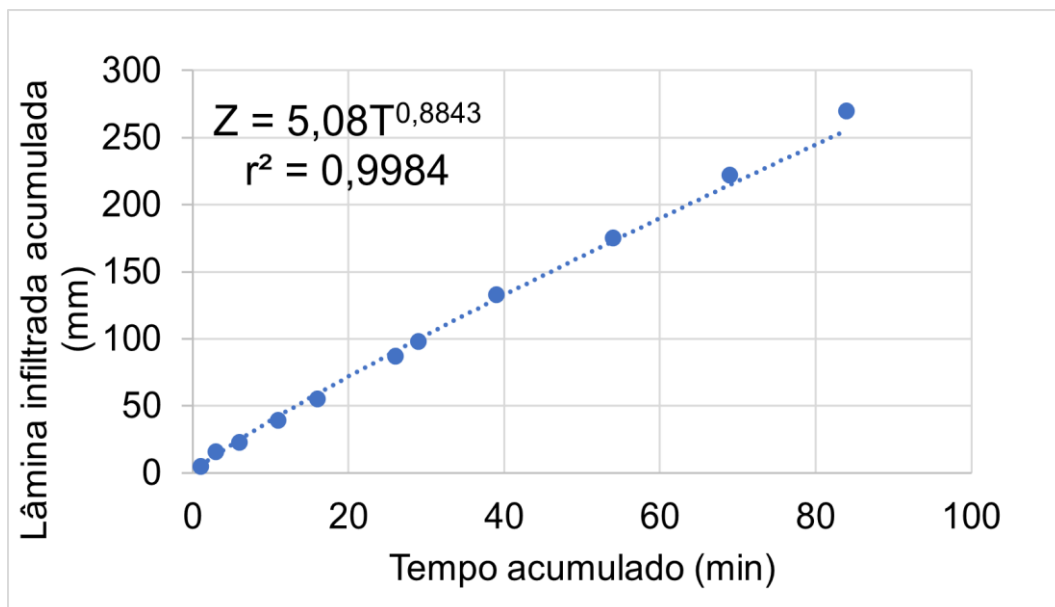


Figura 2 - Lâmina de água infiltrada em função do tempo acumulado.

Os testes de resistência do solo à penetração (Figura 3), mostraram variação na resistência à penetração entre os pontos do campo. O ponto próximo ao teste de infiltração apresentou baixa a média resistência até 0,20 m, aumentando abaixo dessa profundidade, favorecendo o crescimento radicular superficial. Os pontos nos gols sul e norte exibiram alta resistência já na

camada de 0,10–0,20 m, associada ao pisoteio intenso, o que pode comprometer a infiltração e o desenvolvimento do gramado. No centro do campo, os valores foram mais baixos e homogêneos, indicando compactação moderada. A correlação entre alta resistência e menor condutividade hidráulica reforça a necessidade de manejo localizado, como aeração, para preservar a eficiência do solo.

A FIFA, entidade máxima do futebol mundial, estabelece padrões técnicos rigorosos para gramados e estádios, visando garantir segurança, desempenho e durabilidade das infraestruturas esportivas. Esses critérios são fundamentais para preservar a integridade do jogo e a saúde dos atletas, especialmente em competições de alto nível. No contexto deste estudo, a avaliação das condições físico-hídricas do gramado permite verificar se os parâmetros observados atendem às exigências internacionais, contribuindo para a qualificação do campo segundo diretrizes estabelecidas pela entidade (MARTINS, 2017).

As maiores resistências à penetração foram observadas nas regiões próximas às metas, padrão que confirma os achados de Alfonsi (2015), o qual destacou essas áreas como as mais suscetíveis à compactação devido ao intenso pisoteio, resultando em maior densidade e menor porosidade do solo.

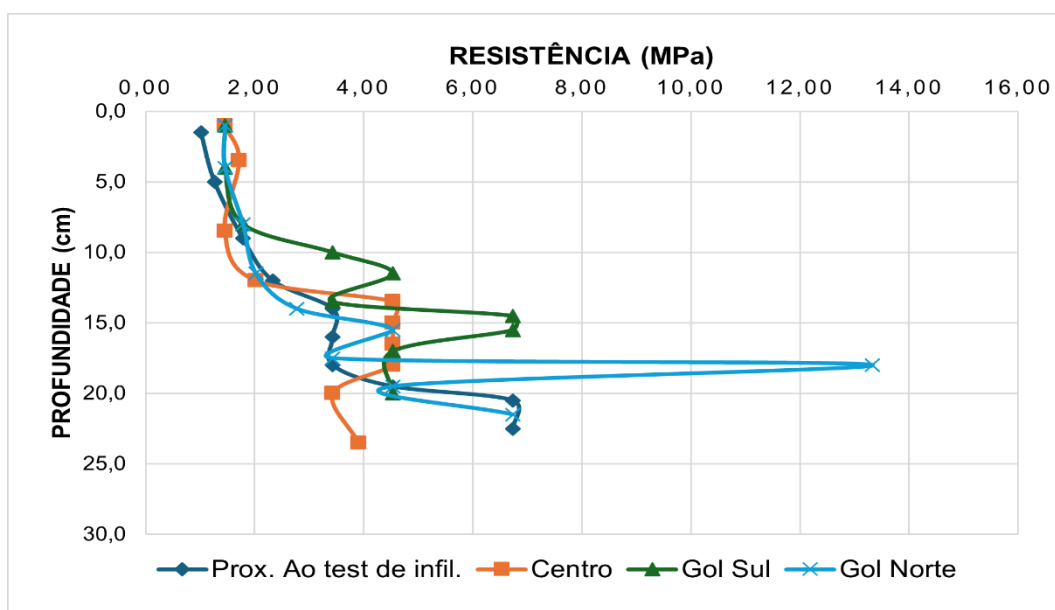


Figura 3 - Resistência do solo à penetração nos demais pontos.

A avaliação das condições do gramado baseou-se em um sistema de classificação que atribui notas às características quantificáveis, variando de "inaceitável" a "excelente". Dentre os critérios analisados, destacam-se os testes de infiltração e resistência à penetração, cujos resultados são comparados a valores de referência previamente estabelecidos (Tabela 1). Esses parâmetros são fundamentais para assegurar o desempenho funcional e a segurança do campo.

Além disso, observou-se que o nivelamento do gramado atendeu às recomendações da FIFA, que preconiza caimentos de 0,5% tanto para as laterais quanto para as extremidades (em direção aos gols), partindo do eixo central do campo, a fim de garantir o escoamento superficial eficiente. A conformidade com essas diretrizes técnicas contribui para a manutenção da qualidade do gramado, especialmente em situações de elevada frequência de uso e de eventos com exigência internacional.

Tabela 1: 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

Os resultados evidenciaram variações significativas na qualidade do solo ao longo do perfil do gramado. O ponto central do campo foi o único que não apresentou classificações de "baixa qualidade", mantendo-se consistentemente entre as categorias "qualidade satisfatória" e "boa qualidade". Em contraste, os demais pontos avaliados apresentaram, em algum momento do perfil, índices classificados como "baixa qualidade", indicando heterogeneidade nas condições físicas do solo. Destaca-se, de forma mais crítica, o ponto localizado no gol norte, onde foi registrado um valor considerado "inaceitável", o que pode comprometer o desempenho local do gramado. Em relação à condutividade hidráulica do solo saturado, observou-se um cenário mais favorável: todos os pontos analisados foram classificados como de "boa qualidade", com exceção do ponto situado próximo ao local do teste de infiltração, que obteve a classificação de "excelente". Esses resultados sugerem que, embora existam limitações localizadas na qualidade física do solo, a capacidade de condução de água, de modo geral, atende aos padrões recomendados para gramados esportivos.

Durante os testes de condutividade hidráulica do solo saturado, realizados com permeâmetro de carga constante, observou-se fluxo permanente e elevada percolação de água, permitindo a coleta do volume infiltrado em 10 minutos e o cálculo da condutividade (K_0) com base na equação de Darcy. Os valores obtidos para as quatro amostras do campo do Estádio Plácido Aderaldo Castelo, apresentados na Tabela 2, foram classificados, segundo os critérios de Pizarro (1985), como de alta a muito alta condutividade, indicando elevada capacidade de transmissão de água no perfil do solo. Em relação à dinâmica hídrica do solo, temos:

Tabela 2: Parâmetros de infiltração e condutividade hidráulica.

Local	VIB (mm h ⁻¹)	Ko (mm h ⁻¹)	Classificação	Comparativo 2012 (mm h ⁻¹)
Ponto histórico	154,9	236	Muito alta	147,2 (+5,4% vs. 2012)
Gol Norte	-	122,9	Alta	-
Centro	-	121,0	Alta	-
Gol Sul	-	114,3	Alta	-

¹Velocidade de Infiltração Básica (VIB); ²Condutividade Hidráulica do solo Saturado (Ko).

A estabilidade da VIB após 12 anos atesta a eficiência duradoura do perfil construtivo – composto por camada superficial arenosa sobre colchão drenante de brita, que mantém as condições hidráulicas ideais mesmo após intenso uso. Contudo, eventos pluviométricos extremos, como o registro de 178,2 mm em 24 horas em fevereiro de 2025 (VIANA, 2025), podem induzir saturação temporária do solo, fenômeno observado durante uma partida entre Fortaleza e Sport Recife em abril de 2022 pela Copa do Nordeste, quando o encharcamento parcial do gramado comprometeu o desempenho esportivo (MOTA, 2022).

Em relação a compactação e impacto agrônômico, verifica que o pisoteio intenso nas áreas de meta, aproximadamente 30% mais concentrado do que no centro do campo, provoca diversos efeitos negativos. Entre eles, destaca-se a redução do comprimento radicular, que pode ser superior a 40% em profundidades abaixo de 0,15 m. Adicionalmente, há um aumento na incidência de musgo, que se desenvolve nas regiões onde o solo fica exposto, ocupando esses espaços e dificultando o crescimento da grama. Como consequência, observa-se uma queda na produtividade, com redução na taxa de crescimento da grama (Carrow, 1980).

CONCLUSÕES

O campo apresenta boas condições físicas de solo para uso esportivo, com elevada infiltração (154,9 mm h⁻¹) e condutividade hidráulica “alta a muito alta”, mesmo após 12 anos da última reforma, favorecendo o desempenho do gramado. Contudo, há restrições localizadas, sobretudo abaixo de 0,12 m e próximas às metas, além da necessidade de ajustes no declive do lado oeste para atender ao gradiente recomendado de 0,5%. Recomenda-se o uso de top dressing para correção do nivelamento e aprimoramento das condições físico-estruturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSI, L. G. et al. **Distribuição espacial da compactação do solo em campos de futebol.** Botucatu: Vilsigra, 2015.

- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 4.ed. Viçosa: Editora UFV, 1987. 488 p.
- CARROW, R. N. Influence of soil compaction on three turfgrass species. **Manhattan: Agronomy Journal**, v.72, n.6 p.1038-1042, nov-dez. 1980.
- FIFA. **FIFA Quality Programme for Football Turf**. Zurich: FIFA, 2022.
- 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.
- MARTINS, G. C. **A história da FIFA na década de 1920**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2017.
- 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.
- MOTA, A. **Encharcado, gramado do Castelão recebe intervenção na véspera de Ceará x Independiente**. 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-independiente-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.
- 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.
- SESPORTE. **Relatório de Utilização da Arena Castelão 2024**. Fortaleza: Governo do Ceará, 2024.
- 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.
- 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-...-1.3624653>. Acesso em: 28 fev. 2025.