

ESTUDOS DE CASO NO

Ensino de Ciências da Natureza 1

Química em Foco



ORGANIZADORES:

- Salete Linhares Queiroz
- Caio Moralez de Figueiredo

Autoras e autores

Adriana Gruli de Melo
Arthur Moraes Franco da Rocha
Caio Moralez de Figueiredo
Cyntia Vasconcelos de Almeida
Daniel Yanke Brasilino
Eduardo Orlando Bartaquim
Evelin Ribeiro Cardoso
Felipe Santana Pena
Giovane Santos dos Reis
Gustavo Vasconcelos Gomes
Helainy Wanyessy Kenya Rodrigues Silva Chagas
Iuri Neves Soares
Kleyton Junior Gomes de Morais

Letícia Tagliavini de Assis
Lucas Freitas Feitosa
Matheus Gotha
Natália Wolf de Faria
Pablo Abreu Alves
Pedro Augusto Sponchiado
Priscila Martini de Souza
Rafael Cava Mori
Renata Almeida Chagas
Ricardo Matos
Salette Linhares Queiroz
Thiago Wedson Hilario
Winnie Evelyn Valeria Perez Vite

Organizadores

Salette Linhares Queiroz
Caio Moralez de Figueiredo

Projeto gráfico e Diagramação

Diagrama Editorial

Capa

Eldes de Paula Oliveira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

E82 Estudos de caso no ensino de ciências da natureza 1 [recurso eletrônico]: Química em foco / organizado por Salette Linhares Queiroz, Caio Moralez de Figueiredo. - São Carlos : Diagrama Acadêmico, 2025. 139 p. ; PDF ; 1,6 MB.

Vários autores.
Inclui índice e bibliografia.
ISBN: 978-65-995167-7-1 (Ebook)

1. Química. 2. Educação. 3. Formação de professores. I. Queiroz, Salette Linhares. II. Figueiredo, Caio Moralez de. III. Título.

2025-4478

CDD 540
CDU 54

Elaborado por Odílio Hilario Moreira Junior - CRB-8/9949

Índice para catálogo sistemático:

1. Química 540
2. Química 54



Rua XV de Novembro, 2190, sala 8
Telefone/WhatsApp: (16) 99614-8949
CEP 13560-240 - São Carlos/SP
www.diagramaeditorial.com.br

CAPÍTULO 1

ESTUDO DE CASO: **GRAMA SINTÉTICA, O NOVO VERDE DOS ESTÁDIOS**

EDUARDO ORLANDO BARTAQUIM¹IURI NEVES SOARES²PABLO ABREU ALVES³

Ser estagiário, com certeza, não é uma tarefa fácil! Além de ser culpado por tudo que dá errado, ainda precisa apresentar soluções inteligentes para problemas bastante complexos que surgem o tempo todo. Assim é a vida de Marcos, estagiário de química na empresa Sintetiza Grama, que, na manhã do dia 22 de junho, dirigia-se à sala de reuniões para conhecer as suas novas tribulações, a convite da doutora Clara, especialista em polímeros e sua supervisora.

– Bom dia, Marcos, tudo bem? Quero que você conheça o Roberto. Ele é engenheiro da Campo Belo Construções e veio pedir nossa ajuda hoje.

– Olá, Marcos, tudo bem? É uma honra conhecê-lo. Vamos direto ao assunto, pois imagino que você deve estar bastante atarefado. Eu sei como é difícil a vida do estagiário. Você deve ter ouvido falar que nós fomos contratados para construir um campo de futebol para o Sintetiza F.C. (o maior clube de futebol da região).

– Nossa, sim, claro que ouvi falar. Eu amo o Sintetiza! Fiquei sabendo que o estádio deve ser enorme!

– Exatamente! Esperamos que, além dos jogos, consigamos trazer para o estádio shows e eventos. Para dar conta de tudo isso sem gastar muitos recursos, encontramos diversas soluções, como, por exemplo, utilizar lâminas entrelaçadas e perfuradas que são autolimpantes, reduzindo o consumo de água e que promovem a passagem de ar natural para manter o ambiente mais agradável, assim

1 Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

2 Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

3 Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo.

como permitem a entrada de luz, reduzindo a necessidade de utilização de energia elétrica para iluminar o estádio.

– Esplêndido! – diz Luísa, diretora do departamento de sustentabilidade da empresa, entrando apressadamente pela porta da sala – desculpem o atraso!

– Sem problemas, fique à vontade – continua Roberto. O projeto original previa o uso de grama natural no estádio, no entanto, devido à expectativa de grande quantidade de shows e eventos, nenhum gramado natural nas condições normalmente utilizadas daria conta de se recuperar tão rapidamente. Sendo assim, procuramos vocês pensando na possibilidade de utilizar grama sintética. A doutora Clara sugeriu o seu nome e nos disse que possui bastante conhecimento sobre o assunto, apesar de ser muito jovem.

– Bem... – começa a dizer Marcos.

– Ele é maravilhoso – interrompe a doutora Clara. Vai fazer um ótimo trabalho, e ainda tem a Luísa para ajudar.

– É claro, faremos um ótimo time e apresentaremos um projeto o mais breve possível! – diz Luísa.

– Mas... – Marcos tenta falar.

– Excelente, entraremos em contato assim que vocês nos enviarem o projeto! – interrompe Roberto, finalizando a reunião.

No lugar de Marcos, indique polímeros que você recomendaria para a fabricação da grama sintética, considerando as propriedades químicas e os desafios financeiros e ambientais envolvidos no projeto.

1.1 APONTAMENTOS DIDÁTICOS

Os assuntos discutidos no caso englobam, dentre outros aspectos, a modernização dos estádios de futebol, em especial a troca da grama natural pela sintética, assunto que vem causando muita controvérsia no meio esportivo.

A grama sintética é composta, em linhas gerais, pelo tapete verde, que simula a grama natural, formado por várias lâminas de plástico ou náilon, por uma camada de material amortecedor e pelo enchimento, possibilitando a fixação da grama⁴. Assim, cada um desses componentes pode trazer riscos à saúde humana,

4 Rachel Massey e Lindsey Pollard, “Everything you need to know about artificial turf”, *Center for Environmental Health*, 19 ago. 2022, disponível em: <https://ceh.org/yourhealth/everything-you-need-to-know-about-artificial-turf/>. Acesso em 01 ago. 2025.

pois são constituídos por diversos materiais, em especial no caso do enchimento, que pode ser feito de plástico triturado, normalmente obtido de pneus descartados. Nesse contexto, além dos compostos utilizados na fabricação da borracha, várias outras substâncias podem estar presentes após terem sido aderidas durante o uso dos pneus na estrada, o que inclui hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e compostos orgânicos voláteis. Além disso, vários metais já foram identificados, como zinco, cádmio e cromo, assim como diversos materiais carcinogênicos e neurotóxicos⁵.

Além da preocupação com a saúde, existem questões ambientais envolvidas no processo, como a produção de microplásticos, tendo em vista que parte das lâminas sintéticas se degradam: os campos costumam perder, por meio do atrito durante o uso e exposição às radiações solares, entre 0,5 e 8% das suas lâminas por ano⁶. Esses microplásticos podem gerar contaminação em corpos hídricos, no ar e no solo.

Tendo em vista o exposto, a aplicação do caso possibilita discussões acerca da saúde humana e da proteção ambiental em um contexto que envolve elementos sociais, culturais, econômicos e esportivos. A temática apresentada, por sua vez, está diretamente conectada com a área de polímeros e pesquisa em materiais, em especial os estudos de polímeros sintéticos, algo destacado na narrativa por meio da delimitação da questão problema com foco no material da grama sintética.

Dentre os componentes curriculares com os quais o caso se relaciona estão: Química Inorgânica, Processos Industriais, Química Orgânica, Resíduos Químicos, Ciências dos Materiais, Análise de Compostos Orgânicos e Ciência e Tecnologia de Polímeros. Nessa perspectiva, podem ser abordados os tipos de polímeros e suas características, incluindo a diferenciação entre termoplástico e termorrígido, as formas de contaminação por microplástico, a interação entre materiais diversos e sistemas biológicos, os processos de degradação de plásticos devido à ação de raios ultravioleta (UV).

A aplicação do estudo de caso também pode propiciar o desenvolvimento de habilidades previstas na formação do graduado de acordo com as Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química⁷: “(...) refletir sobre o com-

5 Hefa Cheng, Yuanan Hu e Martin Reinhard, “Environmental and health impacts of artificial turf: a review”, *Environmental Science & Technology*, vol. 48, pp. 2114-2129, 2014. <https://doi.org/10.1021/es4044193>

6 Yasmin Alipour Ataabadi, Heidar Sadeghi e Mohammad Hosein Alizadeh, “The effects of artificial turf on the performance of soccer players and evaluating the risk factors compared to natural grass”, *Journal of Neurological Research and Therapy*, vol. 2, n. 2, pp. 1-16, 2017. <https://doi.org/10.14302/issn.2470-5020.jnrt-17-1487>

7 Brasil, Ministério da Educação, “Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química”, disponível em: https://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/2001/pces1303_01.pdf. Acesso em 01 ago. 2025.

portamento ético que a sociedade espera de sua atuação e de suas relações com o contexto cultural, socioeconômico e político (...)” (p. 4); “(...) respeitar o direito à vida e ao bem-estar dos cidadãos” (p. 4); “saber realizar avaliação crítica da aplicação do conhecimento em Química tendo em vista o diagnóstico e o equacionamento de questões sociais e ambientais” (p. 5); “conhecer aspectos relevantes de administração, de organização industrial e de relações econômicas” (p. 6); e “saber realizar o controle de operações ou processos químicos no âmbito de atividades de indústria, vendas, marketing, segurança, administração pública e outras (...)” (p. 6).

No contexto da educação básica, a Base Nacional Comum Curricular⁸, na área de ciências da natureza, chama a atenção para a discussão de questões ambientais no ensino médio. A habilidade EM13CNT105, por exemplo, ressalta a análise da ciclagem de elementos químicos no meio ambiente e nos seres vivos, promovendo ações capazes de minimizar as consequências nocivas. Por outro lado, a habilidade EM13CNT203 trata da capacidade de prever e avaliar os efeitos das intervenções nos ecossistemas, o que envolve a compreensão dos mais variados mecanismos de ciclos de matéria e de manutenção da vida. Assim, é relevante para a formação do cidadão compreender a forma como os microplásticos e outras substâncias tóxicas, que podem estar presentes no enchimento da grama sintética, impactam o meio ambiente, além de entender o que deve ser feito para lidar com isso, evitando ou mitigando os efeitos negativos.

1.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

De acordo com os critérios elencados por Herreid *et al.*⁹, o caso aqui apresentado pode ser considerado bom. Isso se deve, primeiramente, por ser curto, ocupando menos de duas páginas. O caso precisa manter a atenção do leitor, algo estimulado pela narrativa devido à simplicidade de sua questão problema, que é de fácil compreensão e possibilita a mobilização de conhecimentos diversos, sejam eles, por exemplo, da área de polímeros e/ou materiais.

A presença de conflito é também desejável na estruturação de um bom caso, evidenciado aqui com relação a qual material utilizar no gramado, já que alguns preferem a manutenção da grama e menores custos, enquanto outros privilegiam

8 Brasil, Ministério da Educação, “Base Nacional Comum Curricular”, disponível em: <https://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em 01 ago. 2025.

9 Clyde Freeman Herreid *et al.*, “What makes a good case, revisited: the survey monkey tells all”, *Journal of College Science Teaching*, vol. 46, n. 1, pp. 60-65, 2016.

a preservação da saúde dos atletas e um menor impacto ambiental. Nesse sentido, nenhum material é perfeito e excelente em todos os critérios.

Outro ponto importante para a narrativa é a sua capacidade de gerar empatia, algo que é fomentado a partir do uso de uma linguagem simples e compreensível e da presença de um protagonista facilmente identificável, cuja função, provavelmente, já foi ou ainda será desempenhada pelos estudantes da área de ciências naturais. A inserção de comicidade também colabora para esse quesito, sendo observável na situação exposta na qual o estagiário, embora faça algumas tentativas, não consegue expressar suas opiniões.

O caso é estruturado¹⁰, apresentando uma problemática passível de várias soluções, fazendo com que os alunos precisem pensar de forma crítica, selecionar a opção mais viável e argumentar em favor dela, ou seja, possibilita o desenvolvimento de habilidades importantes para um graduando em química ou aluno de ensino médio.

Quanto à relevância do tema, é necessário retornar no tempo e discutir sobre como o espaço urbano é transformado socialmente. Mais especificamente, é preciso abordar a transformação dos estádios de futebol, algo que revela uma questão que vai além da arquitetura e da infraestrutura esportiva: trata-se da produção do espaço urbano e sua relação com a cultura e o capital¹¹. No passado, os estádios serviam como centros de convívio social e lazer, contribuindo para a construção da identidade coletiva das cidades e comunidades ao seu redor. Isso pode ser visto em diversos estádios, que acabam influenciando a urbanização ao redor deles, criando espaços de encontros e interações sociais. Esse é um exemplo clássico do que Henri Lefebvre¹² denomina como produção do espaço vivido, no qual os estádios eram espaços de convivência popular, onde as ruas, calçadas e a própria estrutura interna proporcionavam momentos de interação espontânea.

Nas últimas décadas, com o avanço das políticas neoliberais, principalmente a partir dos anos 1990, o futebol passou a ser um elemento importante dentro do processo de financeirização do espaço urbano. Reformas, como as implementadas inicialmente por Margaret Thatcher no Reino Unido, começaram a transformar os estádios em arenas que servem ao capital, reduzindo o espaço de vivência a um espaço de consumo. Essa transformação se espalhou pela Europa e chegou ao Brasil com mais força durante a Copa do Mundo de 2014, quando vários estádios passaram por reformas ou foram construídos, seguindo a lógica das arenas

10 Luciana Passos Sá, Ana Cláudia Kasseboehmer e Salete Linhares Queiroz, “Casos investigativos de caráter sociocientífico: aplicação no ensino superior de química”, *Educación Química*, vol. 24, n. extraordinário 2, pp. 522-528, 2013. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72523-0](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72523-0)

11 Rodrigo Accioli, “A relação entre a crise urbana e o futebol”, *Carta Capital*, 12 abr. 2023, disponível em: <https://www.cartacapital.com.br/blogs/br-cidades/a-relacao-entre-a-crise-urbana-e-o-futebol/>. Acesso em 01 ago. 2025.

12 Henri Lefebvre, *O direito à cidade*, 5. ed., São Paulo, Centauro, 2009.

multiuso, onde o futebol divide espaço com eventos comerciais, shopping centers, cinemas e outros serviços¹³.

Um exemplo disso é o estádio Allianz Parque, localizado em São Paulo, de propriedade da Sociedade Esportiva Palmeiras. O estádio passou, recentemente, por um processo de modernização, o que inclui a utilização de um gramado sintético, algo muito importante devido à grande carga de eventos que recebe. Isso está de acordo com a mudança do estádio para ser uma arena multiuso e recebendo, por exemplo, grandes atrações musicais¹⁴. No caso do Allianz Parque, este recebeu 1726 eventos nos seus primeiros dez anos, tendo como destaque o músico Paul McCartney, que foi o que mais fez apresentações no estádio, além de ter recebido grandes bandas, como Iron Maiden e Coldplay.

Ainda em relação a momentos marcantes, o show com maior público nessa primeira década foi o da artista Taylor Swift, que fez com que 50 mil pessoas comparecessem ao estádio¹⁵. Além da carga de eventos, a mudança para o gramado sintético condiz com as novas perspectivas dos dirigentes do futebol sul-americano¹⁶, que está cada vez mais favorável ao uso de grama artificial, assim como visa um melhor desempenho esportivo no que diz respeito à velocidade e plasticidade do atleta, isto é, tornar o “espetáculo” mais atrativo ao público.

O Allianz também se destaca por seu compromisso com as questões ambientais, algo destacado pela *Environmental, Social and Governance*, que colocou a arena do Palmeiras como uma das mais sustentáveis do planeta¹⁷. Nesse sentido, o Allianz firmou o Compromisso Rumo ao Lixo Zero, tendo reaproveitado 75% do seu lixo produzido em 2023, e com 50% do seu consumo oriundo de fontes renováveis, possuindo um sistema eficiente de captação de água da chuva, que direciona os fluidos para hidratação do gramado e abastecimento sanitário da arena.

13 José Custodio Rosa Filho, *Alma: a história da arena esportiva mais antiga do país*, São Paulo, Edição do Autor, 2012.

14 Irlan Simões, “Rumo à ‘desarenização’? Como as arenas do Brasil estão adotando mudanças vistas na Europa”, *Globo Esporte*, 04 abr. 2023, disponível em: <https://ge.globo.com/futebol/noticia/2023/04/04/rumo-a-desarenizacao-como-as-arenas-do-brasil-estao-adotando-mudancas-vistas-na-europa.ghtml>. Acesso em 01 ago. 2025.

15 Ricardo Magatti, “Allianz Parque recebeu 14 mi de pessoas, se tornou ponto turístico e virou motivo de crise por shows”, *Estadão*, 19 nov. 2024, disponível em: <https://www.estadao.com.br/esportes/futebol/jogos-shows-restaurantes-e-tour-allianz-parque-recebeu-14-milhoes-de-pessoas-e-17-mil-eventos/>. Acesso em 01 ago. 2025.

16 Pedro Leite e Paulo Azevedo, “Arena MRV terá gramado sintético? Veja o que o presidente do Atlético-MG disse”, *CNN Brasil*, 03 out. 2024, disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/esportes/futebol/atletico-mineiro/arena-mrv-tera-gramado-sintetico-veja-o-que-o-presidente-do-atletico-mg-disse/>. Acesso em 01 ago. 2025.

17 Gazeta Esportiva, “Allianz Parque bate europeus e se torna uma das arenas mais sustentáveis do mundo”, *UOL*, 11 set. 2024, disponível em: <https://www.uol.com.br/esporte/futebol/ultimas-noticias/gazeta-esportiva/2024/07/11/allianz-parque-supera-europeus-e-se-torna-uma-das-arenas-mais-sustentaveis-do-mundo.htm>. Acesso em 01 ago. 2025.

Outro acontecimento recente que chamou a atenção com relação aos estádios sul-americanos foi a mudança do gramado do Nilton Santos, arena do Botafogo, no Rio de Janeiro, que se tornou sintético, adotando uma tecnologia inédita no Brasil¹⁸. Diferentemente do Allianz Parque e da Ligga Arena (Athletico-PR), o Nilton Santos utiliza uma grama sintética mista, além de aplicar um sistema de irrigação mais moderno, resultando assim em um campo de alta performance, mas que não aquece tanto quanto outros gramados 100% sintéticos.

Por fim, cabe ressaltar a Neo Química Arena, também conhecida por Arena Corinthians, em São Paulo, como sendo a única de gramado híbrido costurado do Brasil, ou seja, além de utilizar uma combinação de fibras naturais e artificiais, aplica uma tecnologia sofisticada de inserção da grama¹⁹. Essa “costura” permite uma troca eficiente de toda a grama a cada temporada, evitando assim o desgaste que costuma ser apresentado nos estádios brasileiros. Da mesma forma, o uso de um sistema híbrido faz com que lesões, contaminações e superaquecimentos sejam evitados. A Neo Química Arena utiliza grama do tipo Ryegrass puro, sendo pioneira nesse aspecto.

O caso em questão é, portanto, atual, considerando que, além das discussões esportivas acerca da implementação da grama sintética, o tema acabou se tornando um assunto político e cultural, que divide comunidades²⁰. Outrossim, várias pesquisas vêm sendo realizadas com relação ao impacto e viabilidade do uso de grama sintética, como é o caso do trabalho de Bø, Bohne e Lohne²¹, uma revisão da literatura que expõe uma abordagem multidisciplinar com relação ao gramado sintético.

Ainda nesse cenário, a União Europeia banuiu enchimentos feitos de pneus triturados para uso em gramados sintéticos, já que contribuem para a formação de microplásticos, além de possuírem diversos compostos que aderem aos pneus, conforme o uso²². A preocupação com relação aos microplásticos se deve ao fato

18 Artur Rocha, “Por que ‘tapetinho’ do Botafogo é diferente de sintéticos de Athletico-PR e Palmeiras”, *ESPN*, 23 ago. 2023, disponível em: https://www.espn.com.br/futebol/botafogo/artigo/_/id/12480630/por-que-tapetinho-botafogo-diferente-sinteticos-athletico-pr-palmeiras. Acesso em 01 ago. 2025.

19 José Edgar Matos, “Melhor do Brasil? Entenda por que gramado do estádio do Corinthians encanta até Abel Ferreira”, *Globo Esporte*, 22 abr. 2024, disponível em: <https://ge.globo.com/futebol/times/corinthians/noticia/2024/04/22/melhor-do-brasil-entenda-por-que-gramado-do-estadio-do-corinthians-encanta-ate-abel-ferreira.ghtml>. Acesso em 01 ago. 2025.

20 Tyler Delpercio, “Grass versus artificial turf: the debate in NJ can be divisive”, *NJ Spotlight News*, 26 jul. 2024, disponível em: <https://www.njspotlightnews.org/2024/07/grass-versus-artificial-turf-the-debate-in-nj-can-be-divisive/>. Acesso em 01 ago. 2025.

21 Simen M. Bø, Rolf A. Bohne e Jardar Lohne, “Environmental impacts of artificial turf: a scoping review”, *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 21, pp. 10205-10216, 2024. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05689-3>

22 Philip Zuccaro *et al.*, “The European Union ban on microplastics includes artificial turf crumb rubber infill: other nations should follow suit”, *Environmental Science & Technology*, vol. 58, n. 6, pp.2591-2594, 2024. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c00047>

de tais partículas, com diâmetro menor que cinco milímetros, espalharem-se facilmente pelo solo, ar e água. Embora ainda não se saiba ao certo a extensão dos danos oriundos do acúmulo de microplástico no organismo humano, existem indícios do aumento de chances de ataques cardíacos²³. Além disso, essas partículas chegam em abundância até os animais marinhos, causando desequilíbrios ambientais²⁴.

No que tange aos atletas, não existe um consenso quanto ao impacto do grama sintético com relação a lesões. Gould *et al.*²⁵ apontam para uma maior taxa de lesões na grama sintética em comparação à grama natural, situação posta de forma contrária no trabalho de Kuitunen *et al.*²⁶, que afirmam ocorrerem menos lesões na grama sintética. É sabido que boa parte das lesões nos ligamentos dos joelhos e tornozelos é oriunda do torque gerado quando o jogador faz uma parada brusca ou muda repentinamente a direção do pé, algo agravado no grama sintético, considerando que o preenchimento é empurrado para fora ou comprimido durante o giro, ambas ações que dificultam o movimento.

Por fim, o caso traz à tona uma temática de interesse geral no Brasil, abordando o futebol, um dos esportes mais economicamente expressivos no país, além de envolver outros esportes e atividades culturais que também utilizam grama sintética. Isso atrai a atenção dos alunos e os engaja em temas relevantes, como química de materiais e sustentabilidade. Além disso, o estudo de caso apresenta um cenário real e desafiador, incentivando a proposição de soluções para o complexo problema da escolha de polímeros adequados para a grama sintética em um estádio multifuncional. Esse contexto imita situações do mundo corporativo, estimulando o desenvolvimento de habilidades de solução de problemas, e simula também a tomada de decisão.

23 Joe Myers e Madeleine North, “Microplastics: are we facing a new health crisis – and what can be done about it?”, *World Economic Forum*, 19 fev. 2025, disponível em: <https://www.weforum.org/stories/2025/02/how-microplastics-get-into-the-food-chain/>. Acesso em 01 ago. 2025.

24 João Pinto da Costa *et al.*, “(Nano)plastics in the environment: sources, fates and effects”, *Science of the Total Environment*, vol. 566-567, pp. 15-26, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.041>

25 Heath P. Gould *et al.*, “Lower extremity injury rates on artificial turf versus natural grass playing surfaces: a systematic review”, *The American Journal of Sports Medicine*, vol. 51, n. 6, pp. 1615-1621, 2022. <https://doi.org/10.1177/03635465211069562>

26 Ilari Kuitunen *et al.*, “Incidence of football injuries sustained on artificial turf compared to grass and other playing surfaces: a systematic review and meta-analysis”, *eClinicalMedicine*, vol. 59, 101956, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2023.101956>

1.3 FONTE DE INSPIRAÇÃO NA PRODUÇÃO DO CASO

A principal fonte de inspiração para o caso foi a visita de um dos autores deste capítulo ao estádio Allianz Parque, de propriedade da Sociedade Esportiva Palmeiras, onde, durante o tour, os guias fizeram diversas observações sobre medidas que são tomadas para tornar a sua operação econômica e sustentável.

1.4 SOLUÇÕES PARA O CASO E CONTEÚDOS DE QUÍMICA EM PAUTA

Tendo em vista a necessidade da escolha do polímero a ser utilizado na grama sintética do Sintetiza F.C., clube fictício apresentado no caso, três opções são apresentadas a seguir.

1.4.1 POLIETILENO

O polietileno (PE) é um polímero termoplástico amplamente utilizado devido à sua versatilidade, baixo custo e boas propriedades mecânicas²⁷. Além disso, também é leve e resistente à água e a produtos químicos, o que o torna ideal para aplicações em embalagens, filmes, tubos e brinquedos. Esses fatores contribuem para que seja o plástico mais utilizado globalmente, algo que também atesta, de forma prática, sua viabilidade e eficácia²⁸.

O PE possibilita uma superfície de jogo mais macia e segura, atendendo às demandas de diferentes esportes, além de proporcionar maior longevidade ao gramado por apresentar boa resistência à abrasão, intempéries e desgastes. Ademais, o gramado de PE é o que possui a aparência mais próxima do natural²⁹.

Na contramão dos pontos positivos já elencados, o PE é produzido a partir de matrizes fósseis, sendo que sua lenta degradação no ambiente levanta preocupações sobre a sustentabilidade. Nesse sentido, a reciclagem é crucial para minimizar o impacto ambiental do PE, mas a falta de infraestrutura adequada em muitos

27 British Plastic Federation, “Polyethylene (High Density) HDPE”, 2025, disponível em: <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/HDPE.aspx>. Acesso em 01 ago. 2025.

28 Sara Ronca, “Polyethylene”, *Brydson's Plastics Materials*, 8. ed., pp. 247-278, 2017, cap. 10.

29 Turf pros solution, “Pros and Cons of Polyethylene (PE) and Polypropylene (PP) for artificial grass”, *Turf pros solution website*, 2024, disponível em: <https://turfprossolution.com/pros-and-cons-of-polyethylene-pe-and-polypropylene-pp-for-artificial-grass/>. Acesso em 01 ago. 2025.

países ainda é um desafio. Também, pode-se citar, como outras desvantagens desse material, a sua baixa durabilidade, quando comparado com o náilon, e suscetibilidade ao calor, atingindo altas temperaturas.

Por sinal, a *Football Association*, a mais antiga associação de futebol do planeta, cita o PE em seu guia para gramados artificiais como sendo o polímero mais utilizado nos fios artificiais, mas também informa que é comum utilizar, em conjunto com o PE, o polipropileno e a poliamida, normalmente na forma de uma mistura ou blend³⁰.

1.4.2 POLIPROPILENO

O polipropileno (PP) é um polímero termoplástico versátil, formado por cadeias lineares de hidrocarbonetos, que é utilizado amplamente para os mais diversos fins, em especial na produção de embalagens plásticas³¹. Ademais, o PP é mais barato e mais leve que o PE, tendo sua instalação facilitada, mas, por outro lado, tem menor resistência e durabilidade, além de não apresentar uma aparência tão realista e atrativa quanto a do PE.

Assim como o PE, o PP também tem sua origem a partir de combustíveis fósseis, sendo produzido com base no propileno obtido do petróleo. Nesse sentido, o impacto ambiental do PP envolve desde o processo de extração do material base, o petróleo bruto, até o descarte do material final.

Algumas empresas chegaram a desenvolver blends que combinam o PE com o PP, agregando as principais qualidades dos dois, isto é, apresentam a maciez e a boa aparência do PE, mas tendo maior leveza e um preço mais baixo. O trabalho de Meshref *et al.*³², por exemplo, demonstrou a diminuição da carga eletrostática produzida em um campo de PE após a adição de um material contendo PP e poliuretano (PU), algo desejável pois a carga pode danificar o gramado e comprometer a saúde dos atletas.

Além do que já foi exposto, cabe ressaltar que a *Football Association* coloca o PP como o principal material de suporte primário para os gramados sintéticos, o que se deve a sua capacidade de resistir às mudanças de tempo e ao desgaste natural da grama artificial, além de apresentar boa resistência dimensional, dificultando que o carpete ceda ou estique.

30 Football Association, “The FA guide to artificial grass pitches”, The Football Association, 2010, disponível em: https://www.thefa.com/GetIntoFootball/~/_media/94E74AF1897644AC912731E-7617FAFB2.ashx. Acesso em 01 ago. 2025.

31 Lee Tin Sin e Tuen Soo Bee, “Eco-profile of plastics”, *Plastics and Sustainability*, p. 45-89, 2023, cap. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824489-0.00010-6>

32 Alaa A. Meshref *et al.*, “Reducing the electrostatic charge generated from sliding of rubber on polyethylene artificial turf”, *Journal of the Egyptian Society of Tribology*, vol. 20, n. 4, pp.54-64, 2023.

1.4.3 POLIAMIDA OU NÁILON

Dentre as três opções mais populares de polímeros para campos sintéticos, todas apresentadas aqui, o náilon, ou poliamida (PA), é o material com maior resistência e durabilidade. Além disso, o náilon é a opção com maior resistência à radiação UV e ao calor³³.

O termo “náilon” engloba um grupo de compostos termoplásticos: as poliamidas alifáticas. Assim, o náilon é caracterizado pelo grupo amida, englobando um vasto grupo de materiais, como náilon 6.6 e náilon 12. Os principais fatores que determinam o tipo de náilon a ser produzido são o tipo de síntese e os reagentes utilizados.

O método mais usual de síntese do náilon envolve a reação entre uma diamina e um ácido dibásico, produzindo assim um sal de náilon, mas outra rota também utilizada é a que se baseia na abertura de um monômero contendo tanto grupos ácidos, como aminas³⁴. O náilon foi o primeiro polímero 100% sintético a ser comercializado em larga escala, tendo sido também o material pioneiro dos gramados artificiais.

Com relação ao quesito impacto ambiental, a PA possui semelhanças com o PP e o PE, ou seja, tem sua origem no petróleo. Ainda, a produção do náilon acaba gerando óxido nitroso, um gás de efeito estufa extremamente potente. Pode-se citar também como pontos negativos o alto custo do náilon, sendo mais caro que o PE e o PP, e a sua característica abrasiva, que gera atrito com a pele dos jogadores, causando a chamada “queimadura de gramado”. Por fim, o náilon absorve muita água, o que pode levar a um problema de drenagem em locais com alta taxa pluvial.

A escolha do polímero ideal para a grama sintética do estádio Sintetiza F.C. dependerá de uma análise criteriosa das vantagens e desvantagens de cada solução. Considerando os aspectos econômicos, de desempenho e de sustentabilidade, o PE destaca-se como a melhor opção. Apesar de suas desvantagens ambientais, o PE oferece uma combinação atraente de baixo custo, reciclabilidade e durabilidade adequada para a aplicação em estádios multifuncionais.

O PE é o polímero mais utilizado globalmente, o que garante um processo de produção eficiente e financeiramente viável, atendendo às preocupações de Roberto quanto aos custos do projeto. Além disso, suas boas propriedades me-

33 Charlie Ferer, “Types of artificial grass: nylon, polyethylene, or polypropylene?”, *Paradise Green and Turf*, 3 fev. 2021, disponível em: <https://www.paradisegreens.com/blog/types-of-artificial-grass/>. Acesso em 01 ago. 2025.

34 Sandip Kumar Mukhopadhyay, “Manufacturing, properties and tensile failure of nylon fibres”, *Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibres*, pp. 197-222, 2009, cap. 8. <https://doi.org/10.1533/9781845696801.2.197>

cânicas e resistência ao desgaste fazem do PE uma escolha eficaz para suportar o alto tráfego e a demanda de eventos esportivos e culturais.

Embora o PP e o náilon também tenham suas vantagens, como maior resistência térmica e durabilidade, o custo mais elevado do náilon e a rigidez do PP tornam essas opções menos recomendáveis para equilibrar a necessidade de desempenho e viabilidade financeira. Assim, o PE é a solução que melhor equilibra os desafios técnicos e econômicos, atendendo às expectativas de todos os *stakeholders* envolvidos no projeto.

Por fim, vale ressaltar, conforme mencionado anteriormente, que o PP e o PE podem ser combinados, formando um material híbrido capaz de apresentar as vantagens dos dois polímeros de origem combinadas.

1.5 PARA SABER MAIS

1.5.1 GRAMA NATURAL VS. GRAMA SINTÉTICA: QUAL É A MELHOR OPÇÃO PARA OS ESTÁDIOS³⁵

O artigo traça uma comparação entre grama natural e sintética para estádios esportivos, abordando aspectos como custo de manutenção, desempenho esportivo dos atletas, impacto ambiental e satisfação dos usuários. No geral o embate pode ser resumido como a escolha entre economia e performance do gramado sintético e o menor impacto ambiental e preservação dos atletas com uso da grama natural.

1.5.2 QUÍMICA E FUTEBOL: A CIÊNCIA DE UMA PAIXÃO³⁶

O artigo relata a aplicação de uma atividade didática pautada na abordagem de conteúdos de química no ensino médio por meio de uma contextualização envolvendo futebol, isto é, estabelece relações entre química e futebol. Dentre os temas discutidos, estão os materiais com os quais são feitas as redes, as bolas e os gramados, com destaque para diversos polímeros e suas propriedades químicas.

35 Avaetê de Lunetta e Rodrigues Guerra *et al.*, “Grama natural vs. grama sintética: qual é a melhor opção para os estádios”, *Revista Acadêmica da Lusofonia*, vol. 1, n. 3, 2024. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13826563>

36 Flávia Maria Rocha Melo *et al.*, “Química e futebol: a ciência de uma paixão”, *Experiências em Ensino de Ciências*, vol. 15, n. 2, pp. 707-725, 2020.