



Tênis para Maratonas no Deserto: Uma Abordagem Biomimética Inspirada no Camelo

Running Shoes for Desert Marathons: A Biomimetic Approach Inspired by the Camel

Daniel Rocha dos Santos, graduando, UFCG

danielrochast.ufcg@gmail.com

Jordana Carolina Oliveira Carneiro, graduanda, UFCG

jordanaoliveirac@gmail.com

Mateus Gonçalo de Almeida Pereira, graduando, UFCG

almeidamat98@gmail.com

Antônio Roberto Miranda de Oliveira, doutor, UFCG

antonio.roberto@professor.ufcg.edu.br

Itamar Ferreira da Silva, doutor, UFCG

itamar@design.ufcg.edu.br

Número da sessão temática da submissão – [Design e Arquitetura - IV Fórum Nacional de Biônica e Biomimética]

Resumo

Este estudo explora o desenvolvimento de um calçado esportivo para maratonas em ambientes desérticos, com inspiração nas patas do camelo. O objetivo é criar um tênis que proporciona estabilidade, conforto e eficiência para corredores em terrenos arenosos, minimizando o afundamento na areia e otimizando o desempenho. A pesquisa utilizou uma abordagem biomimética, que envolveu revisão bibliográfica, análise de materiais, prototipagem e testes ergonômicos. O design foi baseado na morfologia das patas do camelo, com um solado expansível, palmilha de gel de alta absorção e cabedal em neoprene e poliéster hidrofóbico.

Os testes mostraram que o solado com bolsões de ar reduziu o afundamento, enquanto a palmilha de gel melhorou a absorção de impacto. O cabedal protegeu contra a entrada de areia e favoreceu a ventilação, aumentando o conforto térmico. A aplicação da biomimética se mostrou promissora para otimizar o desempenho de corredores em maratonas no deserto. Embora os resultados iniciais tenham sido positivos, testes de campo prolongados são necessários para validar e aprimorar o desempenho em condições reais.

Palavras-chave: Biomimética, Camelo, Calçados Esportivos, Maratona, Deserto



Abstract

This study explores the development of a sports shoe for marathons in desert environments, inspired by the morphology of camel feet. The aim is to design a sneaker that provides greater stability, comfort, and efficiency for runners on sandy terrain, minimizing sinking into the sand and optimizing athletic performance. The research followed a biomimetic approach, involving literature review, material analysis, prototyping, and ergonomic testing. The shoe design was based on structural principles of the camel's anatomy, incorporating an expandable sole, a high-absorption gel insole, and an upper made of neoprene and hydrophobic polyester.

Tests showed that the expandable sole with air pockets significantly reduced sinking in the sand, while the gel insole improved impact absorption. The upper enhanced protection against sand entry and promoted ventilation, increasing thermal comfort. The application of biomimicry in sports design proved to be a promising solution to improve runner performance in desert marathons. Although initial results were positive, further studies should include extended field testing to validate and refine the shoe's performance under real conditions.

Keywords: *Biomimicry, Camel, Sports Footwear, Marathon, Desert*

1 Introdução

Os ambientes desérticos representam um grande desafio para corredores de maratonas devido às temperaturas extremas, superfícies instáveis e alta dissipação de energia durante a corrida. O deslocamento na areia exige esforço adicional, tornando essencial o desenvolvimento de calçados com tecnologias que aumentem a aderência e a estabilidade. A busca por soluções inovadoras leva ao campo da biomimética, que se inspira em adaptações naturais para resolver problemas de design e engenharia.

O camelo (*Camelus*), um mamífero adaptado ao ambiente desértico, apresenta características anatômicas que garantem sua locomoção eficiente em solos arenosos. Suas patas largas e almofadadas distribuem o peso corporal de maneira uniforme, evitando o afundamento na areia. Além disso, sua estrutura óssea e muscular contribui para a estabilidade e resistência durante longos deslocamentos.

Diante desse contexto, este estudo propõe o desenvolvimento de um tênis para maratonas no deserto inspirado na morfologia das patas do camelo. A pesquisa busca integrar conceitos biomiméticos e tecnologias avançadas na fabricação de calçados esportivos, proporcionando maior desempenho e conforto para corredores que enfrentam terrenos arenosos e condições climáticas extremas.

2 Procedimentos Metodológicos

Este estudo adotou a abordagem biomimética para desenvolver soluções estruturais e funcionais inspiradas no camelo, visando aprimorar o desempenho de corredores de maratona em ambientes desérticos. A biomimética tem sido amplamente utilizada no design e desenvolvimento de produtos, oferecendo soluções inovadoras baseadas em adaptações



naturais para diferentes desafios estruturais e ergonômicos (Santos, 2010; Gamarano; Dias; Ricaldoni, 2018).

Para definir os parâmetros do projeto, foi utilizada a metodologia PICO, originalmente desenvolvida na área da saúde para estruturar perguntas de pesquisa clínica de forma clara e objetiva (Santos, Pimenta e Nobre, 2007). Essa metodologia foi adaptada ao contexto do design para orientar o foco investigativo e as diretrizes do desenvolvimento. A sigla PICO representa quatro elementos fundamentais:

- **P (População):** Corredores de maratona que competem em terrenos arenosos e desérticos.
- **I (Intervenção):** Desenvolvimento de um tênis inspirado na morfologia das patas do camelo.
- **C (Comparação):** Avaliação comparativa com calçados esportivos convencionais.
- **O (Outcome/Resultado):** Maior estabilidade, melhor adaptação ao solo arenoso e otimização do desempenho em condições extremas.

A pergunta norteadora formulada com base nessa metodologia foi: *Como a biomimética pode contribuir para o desenvolvimento de um tênis mais eficiente para maratonas no deserto?* Para respondê-la, foram analisadas referências bibliográficas e revisões científicas sobre adaptação de animais ao ambiente árido, ergonomia aplicada ao desempenho físico e inovações no design de calçados esportivos.

Pesquisas recentes demonstram que a biomimética pode ser uma ferramenta valiosa na criação de estruturas otimizadas para melhorar a estabilidade e a eficiência energética dos corredores, reduzindo o impacto e a dissipação de energia em superfícies arenosas (Bouabdallah; M'Sellem; Alakama, 2016). A coleta de dados foi realizada por meio de consultas a bases científicas como Google Scholar, ScienceDirect e Web of Science. A partir das informações obtidas, foram geradas alternativas de design, que passaram por um processo de prototipagem e refinamento antes dos testes ergonômicos e estruturais.

Estudos prévios apontam que a aplicação de estruturas inspiradas na natureza, como a adaptação da sola do tênis com base na anatomia de animais do deserto, pode melhorar significativamente a aderência e reduzir o afundamento na areia. Ao explorar o potencial da biomimética no design esportivo, este estudo busca criar um calçado que não apenas otimize o desempenho dos atletas, mas também proporcione maior conforto e segurança para maratonistas que enfrentam as condições extremas dos desertos.

3 Requisitos e Parâmetros

O tênis desenvolvido foi projetado para otimizar o desempenho em ambientes desérticos, incorporando elementos inspirados na morfologia do camelo e combinando materiais avançados com soluções ergonômicas inovadoras. Os principais diferenciais do design incluem:

- **Solado Expansível:** Equipado com bolsões de ar em poliuretano, que aumentam a área de contato com a areia, distribuindo melhor o peso e reduzindo o afundamento, semelhante ao mecanismo natural das patas do camelo.
- **Palmilha de Gel de Alta Absorção:** Desenvolvida para minimizar o impacto a cada passada, proporcionando maior conforto e reduzindo a fadiga em percursos de longa distância.
- **Cabedal em Neoprene e Poliéster Hidrofóbico:** Garante um ajuste ergonômico ao pé, oferecendo flexibilidade e proteção contra a entrada de areia, além de favorecer a ventilação para melhor controle térmico.

Essas inovações visam proporcionar mais estabilidade, conforto e eficiência para corredores que enfrentam as adversidades do terreno arenoso, elevando o desempenho em maratonas desérticas.

4 Desenvolvimento e Refinamento do Design

A criação do tênis para maratonas no deserto seguiu um de desenvolvimento, integrando conceitos biomiméticos e soluções ergonômicas. O design foi refinado a partir de diversas fases, incluindo a análise da morfologia das patas do camelo, estudos sobre materiais de alto desempenho e prototipagem de diferentes modelos. A estrutura do calçado foi projetada para otimizar a estabilidade em solos arenosos, minimizar o afundamento e proporcionar conforto térmico ao usuário. O solado expansível, a palmilha de gel e o cabedal hidrofóbico foram testados e ajustados para garantir máxima eficiência. Além disso, aspectos visuais, como a paleta de cores inspirada na pelagem do camelo, foram considerados para reforçar a identidade biomimética do produto.

As imagens a seguir ilustram as principais etapas do processo de design, desde a geração de alternativas (figura 01) até os testes finais do protótipo, evidenciando a evolução do projeto e sua aplicação prática. A imagem abaixo apresenta esboços conceituais de um tênis inspirado na biomimética para maratonas em ambientes desérticos.



Figura 1: Geração de Alternativas. Fonte: elaborado pelos autores.

No lado esquerdo, há diferentes vistas do calçado, incluindo um perfil lateral e a sola com padrões projetados para oferecer melhor aderência na areia. Observa-se também detalhes estruturais do design, como encaixes e reforços no cabedal. No lado direito (b), há um desenho explodido do tênis, ilustrando suas camadas e componentes internos.

A imagem destaca um sistema modular no solado, com elementos circulares que parecem ser unidades de amortecimento ou estruturas expansíveis para melhorar a distribuição do peso e reduzir o afundamento na areia. O cabedal inclui ajustes e fechos que sugerem adaptação ergonômica e proteção contra a entrada de areia. O conjunto de esboços representa a exploração de formas e funcionalidades do tênis, evidenciando a aplicação de conceitos biomiméticos para otimizar a performance em terrenos arenosos.

A Figura 2 ilustra a fase de refinamento do design do tênis biomimético inspirado nas patas do camelo. Nessa etapa foram realizados ajustes para aprimorar a funcionalidade e o desempenho do produto. No centro, duas representações esquemáticas do calçado mostram as evoluções no projeto. A ilustração à esquerda apresenta um modelo com solado segmentado e estrutura anatômica, sugerindo um design que melhora a aderência e estabilidade em terrenos arenosos. Já a imagem à direita evidencia ajustes na ergonomia e na aerodinâmica do tênis, otimizando seu formato para um melhor desempenho.



Figura 2: Refinamento da geração de alternativas. Fonte: elaborado pelos autores.

Os elementos gráficos, como os tons terrosos ao fundo e pequenos ícones de pegadas, reforçam a identidade visual inspirada no ambiente desértico. A imagem representa um estágio essencial do desenvolvimento do produto, evidenciando a aplicação de conceitos biomiméticos para maximizar o conforto e a eficiência dos corredores em maratonas no deserto.

A Figura 3 apresenta um estudo cromático baseado na pelagem do camelo, utilizado como referência para o design do tênis biomimético. No centro, há a fotografia de um camelo em seu habitat natural, com linhas conectando diferentes partes do corpo a uma paleta de cores na lateral direita. As tonalidades extraídas incluem variações de bege, marrom e caramelo, representadas pelos códigos hexadecimais:

- #F9EDC7 – Tom creme claro, extraído da região superior da cabeça.

- #DCB479 – Bege dourado, presente na área das corcovas.
- #8D532B – Marrom médio, encontrado no pelo do tronco.
- #4F351A – Marrom escuro, correspondente às áreas sombreadas do corpo.
- #DCA36C – Tom terroso claro, observado nas patas.

Esse estudo cromático reforça a identidade visual do tênis, criando uma conexão direta com o ambiente desértico e suas nuances naturais, contribuindo para um design harmônico e conceitualmente alinhado à biomimética.

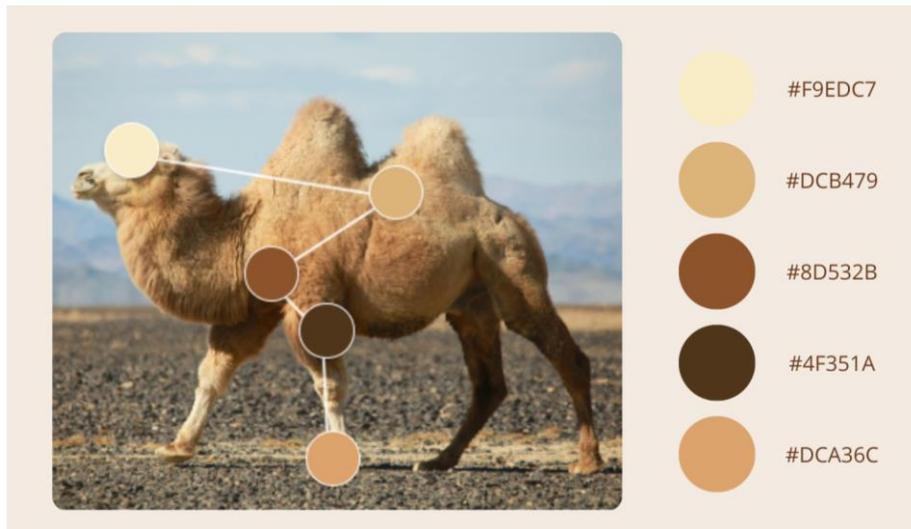


Figura 3: Refinamento da geração de alternativas. Fonte: elaborado pelos autores.

A Figura 4 apresenta as vistas ortogonais do tênis biomimético inspirado nas patas do camelo, seguindo a norma de projeção no terceiro diedro, conforme indicado pelo símbolo técnico no canto inferior direito. Essas representações são fundamentais para a análise técnica do design, permitindo a visualização detalhada da estrutura do calçado em diferentes ângulos.

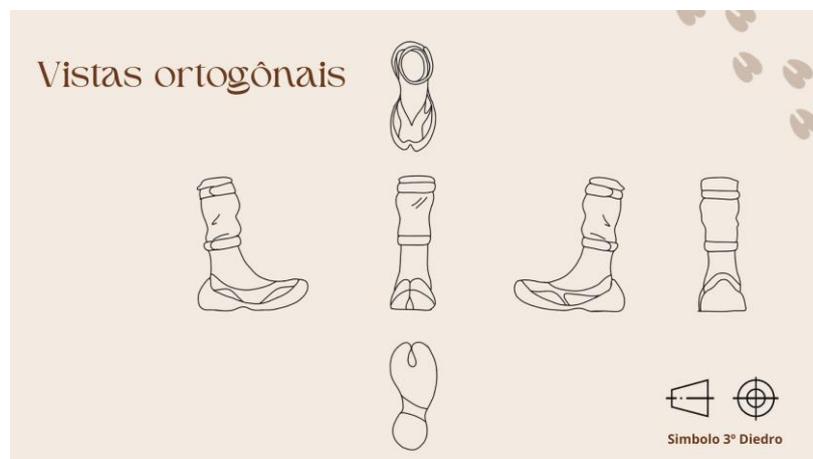


Figura 4: Vistas ortogonais do produto. Fonte: elaborado pelos autores.

Na ilustração, são exibidas seis vistas principais:

- Vista frontal: Demonstra o formato elevado do cabedal, projetado para proporcionar ajuste ergonômico e proteção contra a entrada de areia.
- Vistas laterais direita e esquerda: Evidenciam a conformação do solado expansível e a flexibilidade da estrutura para melhor adaptação ao solo arenoso.
- Vista superior: Apresenta o formato da abertura do tênis e a estrutura anatômica voltada para conforto e estabilidade.
- Vista inferior: Destaca o design da sola, com ranhuras projetadas para aumentar a aderência e reduzir o afundamento na areia.

O uso das vistas ortogonais permite uma análise detalhada do modelo, auxiliando no refinamento da proposta antes da prototipagem e validação em testes de campo.

A Figura 5 ilustra o processo de avaliação da usabilidade do tênis biomimético, destacando a interação do usuário com o produto em diferentes momentos. O título "Usabilidade" reforça a importância da análise contínua para garantir funcionalidade, conforto e praticidade no uso do calçado em ambientes desérticos.



Figura 5: Interação usuário e produto. Fonte: elaborado pelos autores.

A ilustração e os elementos gráficos evidenciam a abordagem centrada no usuário, garantindo que o design atenda às necessidades práticas e ergonômicas dos corredores em terrenos arenosos. Para garantir um ajuste ergonômico e um desempenho eficiente em terrenos arenosos, o tênis biomimético foi projetado considerando as medidas padrão de um pé número 41. O design leva em conta a necessidade de estabilidade, conforto e proteção em condições extremas, equilibrando leveza e resistência estrutural. A estrutura do calçado foi desenvolvida para proporcionar um encaixe adequado, permitindo a distribuição uniforme do peso e reduzindo o afundamento na areia. Além disso, as proporções do solado e do cabedal foram ajustadas para oferecer suporte e flexibilidade durante a corrida.

A imagem a seguir (figura 6) apresenta as dimensões do tênis, destacando suas medidas em altura, largura e comprimento, essenciais para garantir um desempenho otimizado e uma experiência de uso confortável para corredores em maratonas no deserto.

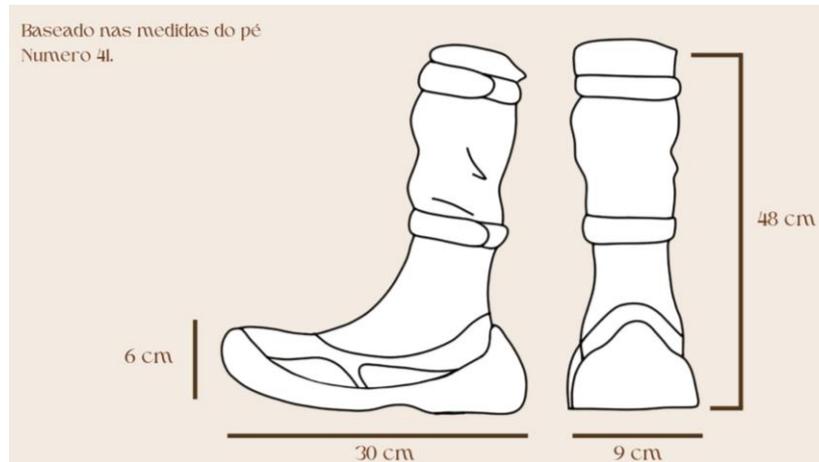


Figura 6: Dimensões do produto. Fonte: elaborado pelo autores.

A escolha das cores é um elemento essencial no design do tênis biomimético, pois influencia tanto a estética quanto a identidade visual do produto. Inspirado nas tonalidades naturais do camelo, o estudo cromático explora variações de tons terrosos, garantindo harmonia com o ambiente desértico e reforçando a relação com o conceito biomimético. A imagem a seguir (figura 7) apresenta quatro propostas de combinação de cores, variando entre tons mais claros e escuros.



Figura 7: Estudo cromático do produto. Fonte: Elaborado pelos autores

Cada variação busca equilibrar funcionalidade e apelo visual, mantendo a inspiração na paleta cromática da pelagem do camelo. Além do aspecto estético, as cores também podem impactar a absorção de calor e a percepção térmica do calçado, fator relevante para o desempenho dos corredores em condições extremas. O estudo cromático contribuiu para a definição final da aparência do tênis, alinhando design e funcionalidade para otimizar a experiência do usuário.

5 Resultados

Após um processo detalhado de pesquisa, design e testes, um mock-up do produto final foi desenvolvido, consolidando os princípios de estabilidade, conforto e adaptação ao ambiente desértico. Inspirado nas patas do camelo, o calçado combina materiais avançados e um design ergonômico para oferecer melhor desempenho aos corredores. A imagem apresenta duas perspectivas do tênis finalizado, evidenciando sua estrutura e principais características:

- **Cabedal alongado e ajustável**, garantindo proteção contra a entrada de areia e proporcionando suporte ao tornozelo.
- **Solado robusto e expansível**, projetado para distribuir melhor o peso e reduzir o afundamento na areia.
- **Materiais resistentes e respiráveis**, otimizando o conforto térmico e a durabilidade em condições extremas.

O desenvolvimento desse produto representa uma inovação no design esportivo, aliando biomimética e tecnologia para atender às necessidades dos atletas em maratonas no deserto.



Figura 8: Imagem do mock-up desenvolvido. Fonte: Elaborado pelos autores.



6 Conclusão

Os testes ergonômicos realizados confirmaram que a estrutura biomimética do tênis proporciona uma melhoria significativa no desempenho em terrenos arenosos. Em comparação com modelos convencionais, o solado expansível demonstrou maior aderência e estabilidade, reduzindo o afundamento e facilitando a locomoção em superfícies instáveis. Além disso, a utilização de materiais leves e resistentes contribuiu para a durabilidade do calçado, sem comprometer o conforto do usuário. No entanto, foi identificada a necessidade de ajustes na rigidez do solado, visando otimizar a absorção de impacto e proporcionar uma experiência ainda mais eficiente. Esse aspecto será aprimorado em futuras versões do projeto, garantindo um desempenho superior para maratonistas que enfrentam condições extremas no deserto.

Os resultados deste estudo demonstraram a viabilidade do desenvolvimento de um tênis para maratonas no deserto, baseado em adaptações biomiméticas inspiradas nas patas do camelo. A aplicação desses conceitos permitiu a criação de um calçado com desempenho aprimorado em solos arenosos, oferecendo maior estabilidade e conforto aos corredores em ambientes extremos. Os testes iniciais indicam que essa abordagem representa uma inovação promissora para o mercado de calçados esportivos, ao integrar tecnologia e design adaptativo para otimizar a experiência do usuário. No entanto, para validar plenamente a proposta, estudos futuros devem contemplar testes de longa duração em condições reais, além do aprimoramento dos materiais empregados, garantindo máxima eficiência, resistência e conforto para atletas que enfrentam desafios em terrenos desérticos.



Referências

A corrida mais perigosa do mundo. Disponível em:
https://brasil.elpais.com/brasil/2017/12/04/album/1512386739_888519.html.

ÁLVARO. A tecnologia Nike Air e as suas câmaras de ar - JD Sports Blog. Disponível em:
<https://blog.jdsports.pt/tecnologia-nike-air-camaras-de-ar/>.

ALVES, E. Maratona das Areias 2023 – Prova terminada “Aqui aprendemos tudo” – Ester Alves | Correr Por Prazer. Disponível em:
<https://correrporprazer.com/2023/04/maratona-das-areias-2023-cronicas-diarias/>.

BENYUS, J. M. Biomimética. [s.l.] Editora Cultrix, 2007.

Camelo: características, alimentação e reprodução. Disponível em:
<https://brasilecola.uol.com.br/animais/camelo.htm>.

DE SOUZA GAMARANO, Daniel; LOPES DIAS, V.; RICALDONI, T. Biomimética e design: um estudo sobre a potencialização da criatividade para métodos de desenvolvimento de produtos inspirados na natureza. Trabalho apresentado no Congresso Brasileiro de Design, 2018, São Paulo.

HELLER, E. A psicologia das cores : como as cores afetam a emoção e a razão. [s.l.] Barcelona Editorial Gustavo Gili, Sl, 2018.

Mountain Do. Disponível em: <https://mountaindo.com.br/trail-run/mountain-do-deserto-do-sahara/>.

Nike Air. Disponível em: <https://www.nike.com/pt/air>.

SARDINHA, V. Camelo: classificação, características, hábitos. Disponível em:
<https://mundoeducacao.uol.com.br/biologia/camelo.html>.

KNUT SCHMIDT-NIELSEN. Fisiologia animal : adaptação e meio ambiente. Sao Paulo: Santos, 2002.