

BASES FISIOLÓGICAS DAS ZONAS DE TREINAMENTO: UMA ABORDAGEM SISTÊMICA DA REMODELAGEM MITOCONDRIAL

Gabriel Lucas Emiliano Moraes; Silvio Moro da Luz; Matheus Filipe de Souza; Loyse Eduarda Huk
Prof. Dr. Aurélio Oliveira • Faculdade Sant’Ana



INTRODUÇÃO

A prescrição do treinamento aeróbico baseia-se na manipulação de intensidades em zonas específicas (Zona 2, Zona 4 e Zona 5) para induzir adaptações na capacidade oxidativa do músculo esquelético (POWERS; HOWLEY, 2019). Entender os mecanismos moleculares envolvidos nessas adaptações permite melhorar o rendimento esportivo. A aplicação de um modelo sistêmico analógico — a "Célula Muscular como uma Fábrica de Energia" — facilita a compreensão da relação entre a sobrecarga mecânica/metabólica e a sinalização celular.

OBJETIVO

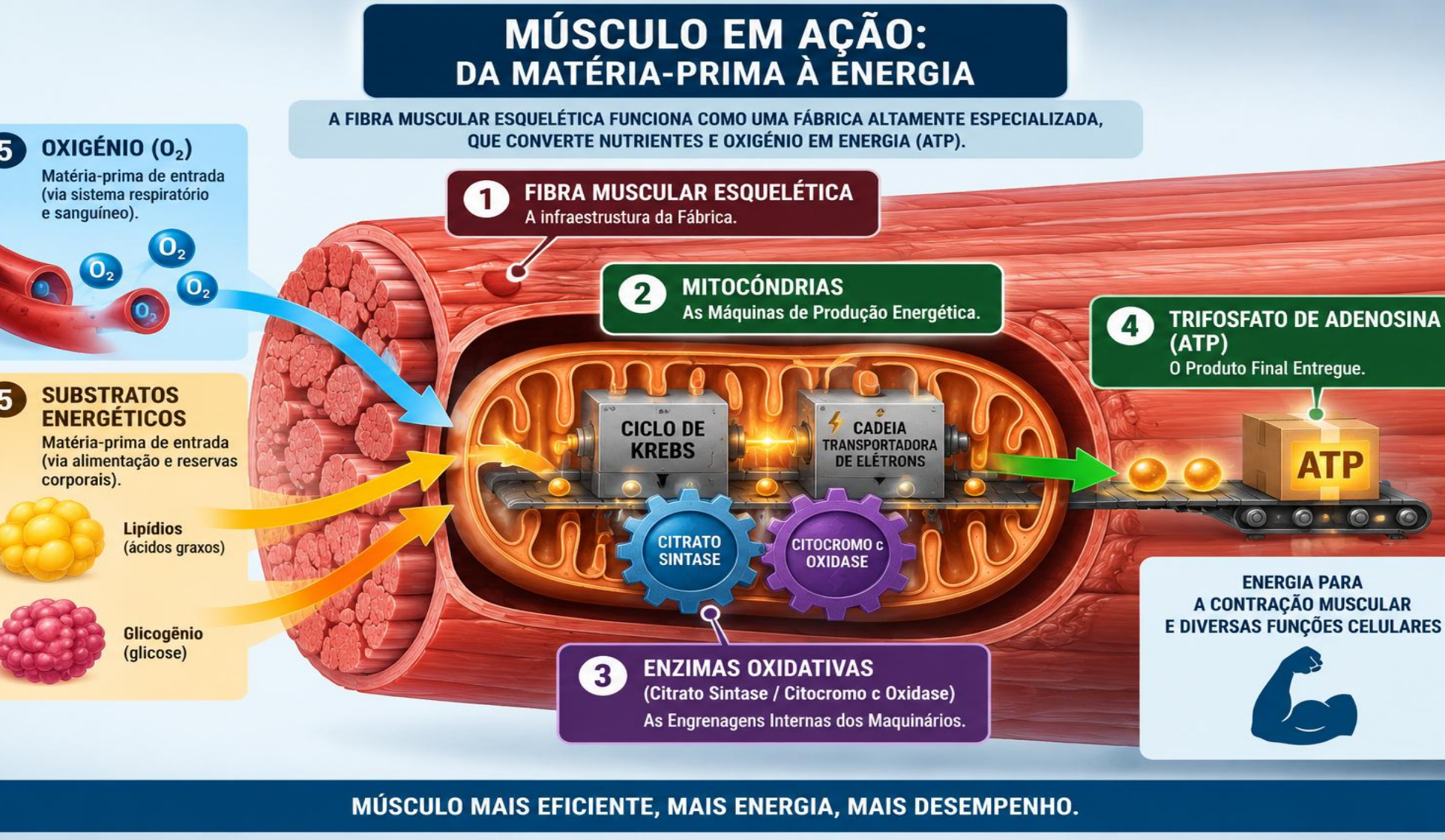
Mapear as respostas fisiológicas e os mecanismos de sinalização celular (Ca^{2+} , PGC-1 α , AMPK e Lisossomos) desencadeados pelas zonas de treino Z2, Z4 e Z5, demonstrando a temporalidade da adaptação mitocondrial no músculo esquelético.

METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa de revisão bibliográfica de caráter descritivo-exploratório. A busca de dados fundamentados em artigos científicos e manuais consolidados de Fisiologia do Exercício e Biologia Molecular (POWERS; HOWLEY, 2019; HARMAN et al. , 2021; SANFORD et al. , 2020), correlacionando as parâmetros de carga interna (zonas de frequência cardíaca e ritmo) com os processos de remodelação de organelas.

MODELAGEM CONCEITUAL: A ANALOGIA DA FÁBRICA

- Fibra Muscular Esquelética: A infraestrutura da Fábrica.
- Mitocôndrias: As Máquinas de Produção Energética.
- Enzimas Oxidativas (Citrato Sintase / Citocromo c Oxidase): As Engrenagens Internas dos Maquinários.
- Trifosfato de Adenosina (ATP): O Produto Final Entregue.
- Oxigênio e Substratos (Lipídios/Glicogênio): A Matéria-Prima de Entrada.



REFERÊNCIAS SELECIONADAS

HARMAN, AP et al. Biogênese mitocondrial induzida pelo exercício: vias moleculares e impactos fisiológicos. Journal of Applied Physiology , Bethesda, v. 130, n. 4, p. 1120-1132, 2021.
PODERES, SK; HOWLEY, ET Fisiologia do Exercício : Teoria e Aplicação ao Condicionamento e ao Desempenho. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2019.
SANFORD, JA et al. Consórcio de Transdutores Moleculares da Atividade Física (MoTrPAC): Mapeamento das respostas celulares e moleculares à atividade física. Cell , Cambridge, v. 181, n. 7, p. 1464-1474, 2020.

FUNDAMENTOS DO MODELO SISTÊMICO

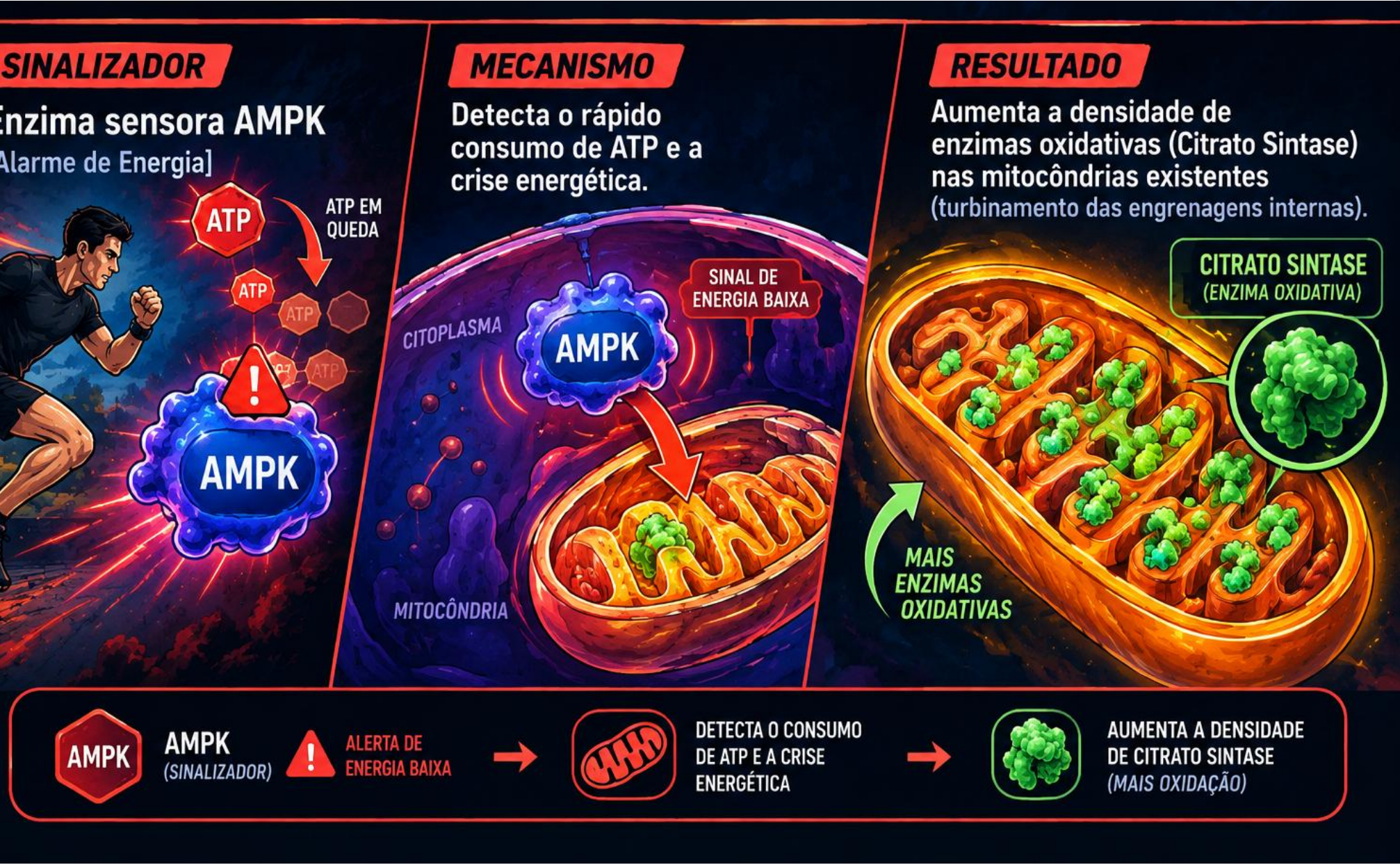
- Entrada (Estímulo de Carga): Carga metabólica e estresse mecânico da corrida (pace/FC em Z2, Z4 e Z5).
- Controlador / Sensoriamento Celular: Íons Ca^{2+} e AMPK, que monitoram a frequência de contração e a crise energética.
- Processo (Transdução de Sinal): Ativação da proteína coativadora PGC-1 α , enviando comandos diretos ao DNA nuclear.
- Saída (Resposta Adaptativa): Biogênese mitocondrial, potenciação enzimática ou remoção selecionada por mitofagia.
- Realimentação (Feedback Fisiológico): Aumento da densidade mitocondrial, elevação do $\text{VO}_2\text{máx}$ e maior eficiência metabólica nas sessões subsequentes.

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS POR ZONA DE TREINO

- ZONA 2 (Base Aeróbica — Biogênese Mitocondrial):
Sinalizador: Íons de Cálcio (Ca^{2+}) [Mineral].
Mecanismo: A contração contínua ativa a proteína PGC-1 α (Gerente Geral) no núcleo celular.
Resultado: Ordena a construção de novas mitocôndrias do zero (expansão do número de máquinas da fábrica).



- ZONA 4 (VO_2 Máx — Potenciação Enzimática):
Sinalizador: Enzima sensora AMPK [Alarme de Energia].
Mecanismo: Detecta o rápido consumo de ATP e a crise energética.
Resultado: Aumenta a densidade de enzimas oxidativas (Citrato Sintase) nas mitocôndrias existentes (turbinação das engrenagens internas).



RESPOSTAS FISIOLÓGICAS POR ZONA DE TREINO

- ZONA 5 (Capacidade Anaeróbica — Mitofagia e Reciclagem):
Sinalizador: Estresse metabólico severo e acidose.
Mecanismo: Identifica organelas danificadas e ativa a Mitofagia via Lisossomos [Organela / Fornalha].
Resultado: "Derrete" as mitocôndrias velhas em aminoácidos puros para forjar novas unidades de alta eficiência.



TEMPORALIDADE DAS ADAPTAÇÕES (RESULTADOS E DISCUSSÃO)

- A remodelação das organelas musculares decorrente do treinamento aeróbico obedece a uma cronologia bem definida em três fases distintas:
- Sinalização Molecular (3 a 6 horas pós-treino): Fase aguda inicial em que ocorre o pico de expressão do RNA mensageiro (mRNA) da proteína PGC-1 α e de fatores transcricionais chave.
- Síntese Protéica (12 a 48 horas pós-treino): Período intermediário intercalado pela tradução genética e construção estrutural das novas enzimas e membranas mitocôndrias.
- Consolidação Estrutural (4 a 8 semanas contínuas): Fase de adaptação crônica em que se consolida o aumento mensurável da densidade e da capacidade funcional mitocôndrial no tecido muscular esquelético.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As adaptações do músculo esquelético ao treinamento aeróbico não ocorrem por respostas imediatas de desempenho, mas sim pelo acúmulo contínuo de cascatas de sinalização molecular altamente específicas. A delimitação precisa das zonas de intensidade (Z2, Z4 e Z5) é fundamental para garantir estímulos celulares direcionados — desde uma biogênese causada por Ca^{2+} e PGC-1 α até a reciclagem de organelas viabilizadas pela mitofagia. A aplicação da analogia da "Fábrica de Energia" consolida-se como uma ferramenta didático-conceitual eficaz, preenchendo a lacuna entre a biologia molecular e a prática da prescrição de corrida.

MENSAGEM-CHAVE

"A PRESCRIÇÃO AERÓBICA EFICIENTE NÃO BUSCA APENAS O CANSAÇO: MAPEAR AS ZONAS DE TREINO É DIRECIONAR A SINALIZAÇÃO MOLECULAR PARA A REMODELAGEM MITOCONDRIAL."

Biologia Molecular X Zonas de intensidade X Corrida de rua