

**Artigo de revisão**Tácito Pessoa de Souza Junior ¹
Benedito Pereira ²**CONCEITOS FISIOLÓGICOS DO TREINAMENTO FÍSICO-ESPORTIVO:
ESTRESSE, HOMEOSTASE E ALOSTASE.****PHYSIOLOGICAL CONCEPTS IN PHYSICAL EDUCATION AND SPORTS
TRAINING: STRESS, HOMEOSTASIS AND ALLOSTASIS****RESUMO**

O objetivo desta revisão é discutir criticamente os conceitos de estresse e homeostase (homeos = igual; stasis = constância) e expor suas limitações em função de recentes evidências que demonstram que a suposta estabilidade interna dos organismos vivos é apenas aparente, inclusive sendo independente de fatores ambientais. Essa instabilidade interna é freqüentemente constatada por pesquisadores dos ritmos circadianos (secreções hormonais), séries temporais (frequência cardíaca) e comportamento (fome e saciedade), que argumentam a favor da substituição da teoria da homeostase pela noção de alostase (allo = diferente; stasis = constância). Na verdade, o propósito da regulação e controle segundo os mesmos não é a constância. Duas conseqüências para a Educação Física e Esporte com a aceitação da alostase como paradigma fisiológico são: 1. O conceito de estresse de Selye deve sofrer nova definição e interpretação, interferindo claramente na noção de carga ou sobrecarga de trabalho e, 2. A hipótese do governo central de Noakes na explicação da fadiga decorrente do exercício físico intenso perde o sentido, como será discutido neste trabalho. Além disso, é muito difícil explicar através da estabilidade pela constância como o desempenho é alterado pelo treinamento físico e porque temos predisposição para esse tipo de atividade reconhecidamente anti-homeostática. Pretendemos neste trabalho mostrar, portanto, a possibilidade de que com a noção de estabilidade pela mudança da alostase essas contradições perdem o sentido.

Palavras-chave: Adaptação; Ajustamento; Fadiga; Homeodinâmica; Respostas crônicas e agudas.

ABSTRACT

The objective of this review article is to discuss the concepts of stress and homeostasis (homeos = equal; stasis = stable) and to expose their limitations on the basis of recent evidence demonstrating that the supposed internal stability of living organisms is merely apparent, and is even independent of environmental factors. This internal instability is often observed by researchers investigating circadian rhythms (hormone secretion), temporal series (heart rate) and behavior (hunger and satiety), who argue in favor of substituting the theory of homeostasis by the concept of allostasis (allo = different; stasis = stable). Indeed, these researchers suggest that the objective of regulation and control is not stability. There are two consequences for Physical Education and Sport if allostasis is accepted as a physiological paradigm: 1. Selye's concept of stress requires a new definition and interpretation, with a clear impact on the concept of load and overload; 2. Noakes' central governor hypothesis to explain the fatigue resulting from intense physical exercise loses its relevance, as will be discussed in this paper. Furthermore, it is very difficult for the model of stability by staying the same to explain why performance is improved by physical training or why we have a predisposition for this type of recognizedly anti-homeostatic activity. We intend to demonstrate the possibility that the allostatic concept of stability through change can explain these contradictions.

Key words: Adaptation; Adjustment; Fatigue; Homeodynamics; Chronic responses; Acute responses.

1 Faculdade de Educação Física de Santos – FEFIS/UNIMES. Brasil

2 Departamento de Esporte, Escola de Educação Física e Esporte. Universidade de São Paulo, USP. São Paulo. Brasil

INTRODUÇÃO

O objetivo desta revisão é discutir criticamente as noções de estresse e homeostase, dois conceitos fisiológicos influentes nas áreas do Esporte e Educação Física. Central nestes conceitos é a proposta de que as entidades biológicas para sobreviverem e se perpetuarem devem objetivar a busca constante de manutenção da constância do meio interno, freqüentemente alterada por estímulos ambientais diversos. A importância de tais conceitos para a Educação Física e Esporte reside no fato de que ambas atuam sobre organismos de humanos por meio da prática de exercícios físicos, caracterizados como agentes estressores que impõem grande instabilidade em variáveis fisiológicas. Para compreenderem esses efeitos, os profissionais destas áreas adquirem conhecimentos oriundos de disciplinas básicas e aplicadas que estudam a biodinâmica do movimento humano, como a fisiologia e bioquímica aplicadas, dentre outras, em cursos de graduação e pós-graduação que possuem como paradigma a noção de homeostase¹.

Contudo, existe um paradoxo no uso da homeostase para explicar os efeitos do exercício físico, porque seu estímulo geralmente produz certa reação no organismo, tornando-o capaz de suportar doses ainda maiores do mesmo, devido ao fenômeno de supercompensação resultante quando o exercício é repetido em espaço de tempo previamente estabelecido². Esse efeito não pode ser explicado pela homeostase, já que o “steady state” (equilíbrio dinâmico) fisiológico pode ser modificado pelo treinamento físico, sedentarismo, envelhecimento, mudanças climáticas, alimentação ou doença. Ou seja, por razões biológicas e devido aos estímulos que sofre a todo instante, o organismo dificilmente retorna exatamente à sua funcionalidade anterior como previsto pela homeostase³.

As bases para o estabelecimento da homeostase como paradigma fisiológico foram lançadas no começo do século XX, por Walter B. Cannon, baseado em idéias prévias de Claude Bernard. Bernard propôs que o ambiente interno celular - *milieu intérieur* – é mantido por mudanças compensatórias contínuas nas funções corporais. Além disso, foi o pioneiro em demonstrar o fenômeno da secreção interna, envolvendo a liberação de glicose hepática para a veia porta, o que contribuiu sobremaneira para o desenvolvimento da Endocrinologia⁴. Contudo, filósofos da antiguidade grega já utilizavam termos em seus escritos que anteciparam a noção de estabilidade como um aspecto fundamental da vida, como Heráclito, Empédocles, Hipócrates e Epicuro, chegando até o século XVII, devido às influências exercidas por Hipócrates na medicina da época, como discutido recentemente por Le Moal⁵.

Cannon⁵ propôs o termo homeostase como sendo um conjunto de valores aceitáveis para as variáveis internas. Pensou com isso que o comprometimento deste estado poderia ativar processos internos como uma unidade funcional. Portanto, fundamental na

definição de homeostase é a noção de “feedback” negativo (retroalimentação). Como complemento a essas idéias, Selye⁶ definiu estresse como um estado caracterizado por um padrão de resposta uniforme, independente das particularidades do estímulo (síndrome de adaptação geral), que pode promover em longo prazo mudanças patológicas. Pode-se dizer em função disso que sempre que o organismo encontra-se sob efeitos de estímulos (estresse), processos internos são alterados para restabelecer os valores de seus parâmetros ou funções⁷.

Segundo críticos da homeostase, devido aos avanços recentes no conhecimento sobre controle e regulação fisiológica, há necessidade de mudança em seu conteúdo ou de sua atualização porque existem evidências de que a constância ou estabilidade das funções internas é um aspecto que limita sua aplicação aos organismos vivos. Além disso, restringe nossa capacidade de explicar o fenômeno da mudança ocorrido devido aos efeitos de estímulos ambientais, como já afirmado antes³. Outro fato importante relaciona-se com a estratégia de treinamento físico quando seu enfoque restringe-se à busca de estabilidade como preconizado pela homeostase, devido à repetição de atividades físicas sem variabilidade, por exemplo. Com isso, pode-se propiciar ao organismo perda de complexidade estrutural e funcional, resultando no fenômeno conhecido por barreira de desempenho (rendimento) físico⁸.

Dentre as propostas atuais de atualização da homeostase, a alostase aparece como um conceito promissor porque procura enfatizar que não existe um único estado ideal nas condições de “steady-state” ou “set points” (pontos fixos), porque mudam continuamente no organismo⁹. Quanto ao estresse, o mesmo agora não é nem visto como uma perturbação nem como padrão de resposta estereotipada, mas uma condição caracterizada por uma discrepância “percebida” entre a informação monitorada de uma variável ou critério para desencadear uma resposta efetora. Além disso, sabe-se que agentes estressores diferentes podem promover padrões particulares de respostas na ativação nervosa simpática, produção adrenomedular hormonal, hipotalâmico-pituitária-adrenocortical e outros efetores, fato esse não reconhecido pela definição corrente de estresse ou pela síndrome de adaptação geral de Selye¹⁰.

Uma leitura mais aprofundada dos trabalhos de Selye revela, contudo, que muitos aspectos de sua proposta não foram devidamente considerados¹¹. Esses assuntos serão abordados neste trabalho, que tem por objetivo além dos já citados discutir as principais propostas alternativas aos conceitos de estresse e homeostase e como a atualização desses conceitos poderia interferir na área do treinamento físico-esportivo.

Homeostase e Estresse

Treinamento físico-esportivo pode ser definido como a aplicação de estímulos (sobrecarga) ao organismo humano, fazendo com que sua homeostase orgânica

e celular torne-se menos estável¹². Nesta definição, são importantes as noções de estresse e estabilidade orgânica e celular (homeostase), estando a primeira relacionada com estímulos ambientais que provocam mudanças na funcionalidade do organismo e, a segunda, com o conseqüente ajuste em suas variáveis no sentido de restabelecê-las, principalmente através de modificações nos processos envolvendo o eixo hipotálamo-hipófise-glândula. Portanto, homeostase se refere ao controle de um estado, considerado supostamente normal, caracterizado naquilo que foi definido pelos fisiologistas como ponto fixo ou “steady state”, que deve ser defendido pelo organismo através das mudanças desencadeadas em suas variáveis pelo estímulo.

Devido ao fato de o organismo possuir funcionalidade sujeita a mudanças constantes no seu padrão de comportamento, em função dos estímulos que sofre, além de não ser totalmente passivo à mercê desses estímulos, foi sugerida como alternativa à homeostase o conceito de homeodinâmica. Este termo em conjunto com a alostase tenta mostrar que mudanças no dinamismo intrínseco tanto estrutural (parâmetros) como funcional (variáveis) são fundamentais para o organismo suportar essas variações externas¹³. Homeodinâmica e alostase referem-se à manutenção de certa estabilidade sistêmica por ajustamentos constantes, ou seja, preservação pela mudança.

Homeodinâmica significa basicamente que parâmetros ou processos fisiológicos mudam continuamente e que a única coisa constante no organismo é o curso temporal da mudança observado em suas variáveis. Esse conceito é muito parecido com o de homeorese, sugerido inicialmente por Waddington¹⁴. Outro termo proposto para tentar superar as limitações da homeostase é o de heterostase¹⁵. Goldberger et al.¹⁶ denominaram o comportamento variado exibido por variáveis fisiológicas por séries-temporais. Os autores enfatizaram que a noção de homeostase e o próprio mecanismo de regulação por “feedback” negativo são insuficientes para a compreensão de processos fisiológicos que funcionam geralmente na forma de redes de partes interatuantes.

Como salientado por Woods⁷, existem vários termos com significado parecido tentando atualizar a homeostase, como por exemplo: homeodinâmica, homeorese, heterostase, homeostase preditiva, homeostase reativa, reostase, homeocinética e alostase. Esses termos serão discutidos ao longo deste texto, e adotar-se-á em função disso a proposta de Sterling, ou seja, a alostase, mesmo que esteja ainda sendo muito discutida.

Mesmo que existam dúvidas por parte de alguns autores¹⁷, a noção de estresse foi desenvolvida por Selye, sendo freqüentemente utilizada como paradigma da resposta orgânica e celular ao estímulo do exercício físico e treinamento. Respostas estas que são geralmente qualificadas, respectivamente, como agudas e crônicas. Segundo Selye, estímulos são considerados estressores e a resposta do organismo como estresse ou resposta ao estresse. A resposta é dividida em três fases: 1. Alarme, 2. Resistência e, 3.

Exaustão. Portanto, a resposta ao estresse mostra perfil trifásico, configurando aquilo a que Selye denominou, como exposto antes, por síndrome de adaptação geral, fato esse reconhecido por fisiologistas atuais, mas que enfatizam a possibilidade de interferência de diferenças individuais no comportamento da resposta e dos fatores desencadeadores desta, assim como a importância da experiência de vida do indivíduo³.

No primeiro estágio, a medula adrenal libera epinefrina e o córtex adrenal glicocorticóide, ambos com a função de restaurar a homeostase. A sua restauração conduz ao segundo estágio, em que a defesa e adaptação são otimizadas. Se, entretanto, o agente estressor persistir, segue-se para a fase seguinte, em que a resposta adaptativa cessa, com o conseqüente aparecimento de sinais de adoecimento e morte. Portanto, como conseqüência da síndrome de adaptação geral, pode-se entender as respostas crônicas do organismo ao exercício físico praticado regularmente como adaptações. De fato, para Hawley et al.¹⁸, os efeitos do treinamento físico somente são possíveis em um organismo que tem capacidade de adaptação.

Esse fato é reconhecido por Hoppeler e Fluck¹⁹, que para ambos “as condições ambientais em que o animal se encontra não são constantes, como conseqüência, as demandas que o tecido muscular deve satisfazer podem variar no tempo de vida de um animal. Para responder a essas demandas, o tecido muscular esquelético deve ser capaz de se adaptar”. No mesmo trabalho, os autores enfatizam que “para responder as mudanças específicas ocorridas no ambiente, o tecido muscular se adapta rapidamente e de forma também específica a variáveis como o exercício físico, temperatura e condições nutricionais. Como conseqüência da assimilação muscular, observam-se modificações estruturais e funcionais que são reversíveis, ou seja, as modificações são mantidas enquanto o estímulo persistir”.

A fase que corresponderia à adaptação no modelo de estresse de Selye diz respeito às modificações desencadeadas no organismo pelo estímulo na fase de resistência. Se a intensidade da estimulação se mantiver em nível compatível com as possibilidades de variação fisiológica, propicia-se através disso, a oportunidade de o organismo manter elevado controle sobre possíveis distúrbios ocorridos. Caso contrário, e como previsto por Selye, pode-se atingir a fase de exaustão com conseqüente perda de controle sobre a funcionalidade orgânica e celular.

Como já abordado em outro trabalho, essa característica da resposta do organismo ao exercício físico, que é reversível e específica, se caracteriza como resposta de ajustamento e não de adaptação, quando assumimos paradigma biológico diferente do proposto por Selye²⁰. Essa posição contrária à tendência de se considerar os efeitos do exercício físico e treinamento como respostas adaptativas é defendida aqui e mais detalhadamente em outro trabalho em preparação. Inclusive, propostas mais recentes realizadas por ecologistas sustentam que

se deve diferenciar adaptação e ajustamento, fato esse ainda não aceito ou devidamente considerado por fisiologistas. Aqui nos limitaremos a questionar os conceitos de estresse e homeostase, por entendermos que são os precursores dessa tendência em se considerar os efeitos do exercício físico e treinamento como adaptações.

Alostase

No treinamento físico-esportivo, portanto, adaptação é um conceito chave, sintetizado na conhecida “teoria da adaptação funcional”, oriunda dos estudos sobre estresse realizados por Selye, entre as décadas de 1930 e 1950²¹. Inclusive, Platonov²², em seu tratado sobre treinamento físico, retrata a importância deste autor na configuração da teoria do treinamento físico-esportivo, assim como de vários outros pesquisadores de origem europeia.

Segundo McEwen²³, entretanto, faz-se presente a necessidade de se introduzir certas modificações nas noções de estresse e homeostase. No caso do estresse, primeiro, a síndrome de adaptação geral não condiz com dados obtidos por pesquisas recentes; ou seja, não se aceita atualmente que a mesma signifique que todo tipo de estresse produza a mesma resposta estereotipada do mediador do estresse. Ao invés, o eixo hipotálamo-hipófise-glândula possui padrão de resposta que está diretamente relacionado com o tipo de agente estressor. Segundo, o comportamento de “lutar ou fugir” não se aplica a ambos os sexos, ao contrário, é mais próprio do sexo masculino em situação de perigo²⁴. A crítica à noção de homeostase diz respeito a esta somente se aplicar a poucos processos fisiológicos e propõe em seu lugar a noção de alostase. Além disso, introduz conjuntamente a alostase, as noções de estado alostático, carga alostática e sobrecarga alostática.

Essa proposta baseia-se no fato de que pontos de estabilidade assim como processos regulatórios mudam com o tempo para preservar a homeostase de certos processos vitais como a glicemia, consumo de oxigênio, pH, etc. Assim, alostase explica a aparente ambigüidade da homeostase (preservação e mudança) e distingue entre sistemas que são essenciais para a vida e aqueles que mantêm esses sistemas em balanço quando o ambiente torna-se instável, conjuntamente às mudanças naturais a que os organismos são submetidos nos seus ciclos de vida. Em acordo com estudos e propostas de Selye, pesquisas neurofisiológicas, comportamentais e clínicas recentes ressaltam que funções orgânicas em situação de emergência são reguladas e ativadas principalmente pelo sistema nervoso autônomo, na sua porção simpática, enquanto que a manutenção da constância das variáveis internas, principalmente pelo parassimpático^{25, 26}.

Em artigo recente, contudo, Rasia-Filho²⁷ não considera que o sistema nervoso autônomo seja, de fato, autônomo. Considera que atividades neurais são intencionalmente ativadas para adequar as variáveis fisiológicas às necessidades do comportamento animal.

Na verdade, segundo o autor, a famosa expressão “lutar ou fugir” é ilusória, porque não reflete a realidade da ativação das funções fisiológicas. Pondera ainda, que “a mobilização das variáveis fisiológicas não ocorre de acordo com o “tudo ou nada” e não se relaciona somente com a situação de “lutar ou fugir”; ao contrário, ocorre com intensidade graduada e de acordo com as situações diárias vivenciadas”.

O autor defende, citando outras referências que “ambas divisões do sistema nervoso autônomo são tonicamente ativas e operam em conjunto consigo próprias e com o sistema motor somático para regular as diversas formas de comportamento, normal ou em situações emergenciais”. Conclui que é o balanço existente entre essas duas partes do sistema que contribui com a manutenção do ambiente interno estável quando ocorrem mudanças nas condições externas²⁷. Ou seja, o conceito alostase explica essa propriedade do sistema nervoso autônomo e mostra a importância que tem para a preservação da estabilidade interna em meio à mudança, como sugere Sterling o criador desse termo¹³.

O estado alostático refere-se ao que foi alterado e sustentado pela atividade de mediadores primários; como os glicocorticóides, que integram a fisiologia e comportamento em resposta às mudanças ambientais ou devido às interações sociais, tempo, doença, predadores, poluição, etc. Se o desbalanço imposto pela mudança continuar por longo tempo, podem surgir sintomas de sobrecarga alostática. Esse tipo de sobrecarga pode ocorrer de duas formas, por exemplo: 1. Se a demanda energética exceder a produção, ou o que pode ser mobilizado dos estoques do organismo, constata-se a presença da sobrecarga alostática do Tipo I; 2. O segundo tipo ocorre se a demanda energética excedente continuar por longo tempo, ocorrendo o risco de desenvolvimento de doenças.

Neste contexto, verifica-se a imprecisão do conceito de estresse, porque os fatores orgânicos e fisiológicos que se modificam podem exercer efeitos benéficos ao organismo num primeiro instante (elevação nas concentrações sanguíneas de glicocorticóides) e, maléficis, se a mudança persistir por longo tempo²⁸. O Tipo I de sobrecarga alostática pode ser exemplificado pelo exercício físico intenso que pode evoluir para o Tipo II caso o estímulo produza os efeitos típicos da síndrome de “overtraining”.

De acordo com Sterling¹³, o propósito da regulação fisiológica não é a constância. Ou seja, alostase considera que um parâmetro com valor não-usual não significa que seu ponto fixo deva ser defendido, mas uma resposta a algo que foi previsto pelo sistema. Central na alostase, portanto, é a noção de que parâmetros variam e que isto antecipa a demanda. Sterling⁹ defende que a alostase não existe para preservar a homeostase, e enfatiza que a constância não é importante para a vida, utilizando vários exemplos como a variação da temperatura corporal, pressão interna, peso corporal, etc, que são monitorados pelo sistema nervoso central. Ressalta que por vários motivos, esses processos necessitam de controle central: 1. Para monitorar

continuamente todos os órgãos, 2. Para computar e atualizar a lista de prioridades.

Em diversos momentos de seu texto, Sterling procura mostrar que mudanças ocorridas no fenótipo e na fisiologia podem estar relacionadas com diversos aspectos impostos por estímulos ambientais e condições de vida e não com a genética ou com algum defeito no processo de controle de variáveis, como é o caso dos problemas de saúde apresentados por afro-americanos; por exemplo, obesidade, diabetes tipo II e hipertensão. Quanto à obesidade, para Sterling, o princípio da homeostase não a explica adequadamente porque se o metabolismo fosse controlado primariamente por “feedback” negativo, a queda na energia liberada seria acompanhada também de redução no consumo de alimento. Quanto a isso, o autor salienta que nos EUA ocorre o contrário: “quanto menos nos exercitamos, mais ingerimos alimento”¹³.

O mesmo argumento pode ser utilizado para a questão envolvendo a explicação do aumento no desempenho físico pelo treinamento utilizando a homeostase como paradigma. Sob sua orientação, atletas iniciariam cada novo ciclo de treinamento sempre como estavam antes de o iniciar, ou até mesmo em uma condição de queda no desempenho. Além disso, nenhum atleta tem seu catabolismo celular ativado apenas quando os sistemas de controle e regulação intracelulares ou fisiológicos são “informados” retroativamente de que passou a ocorrer um déficit ou desequilíbrio entre demanda e oferta energética; na verdade, ciclos de substratos importantes na ativação desses processos são estimulados previamente a execução de qualquer atividade física intensa²⁹.

Devido a isso, é provável que seja muito difícil induzir exaustão ou até mesmo fadiga ao organismo do atleta, principalmente em situação experimental, como sugerido por Noakes e seu grupo de pesquisa com a hipótese do “governador” central³⁰. Essa hipótese se baseia na noção de homeostase, porque nesta proposta a intensidade do exercício é continuamente regulada, utilizando controle antecipatório por meio de comandos oriundos do sistema nervoso central em resposta ao “feedback” informacional derivado da periferia do organismo, a partir de conhecimento oriundo da prática prévia de exercício físico e devido à percepção das condições externas.

A relação com a noção de homeostase com esses mecanismos envolve o objetivo inerente nesses processos que é o de retornar a atividade metabólica e fisiológica ao seu estado inicial, que é modificada pelo exercício físico. Esses processos regulatórios relacionam-se com a sensação aumentada de fadiga, que são ativados para reduzir a intensidade em que o exercício se encontra, resultando em queda na atividade contrátil muscular ou na atividade dos processos metabólicos liberadores de energia para a ressíntese de ATP.

Outro fato que relaciona a hipótese do governo central à homeostase é a importância que Noakes e seu grupo conferem à noção de “set point”. Para estes, o ponto fixo serve como uma forma de registro central

como se fosse uma referência, a partir da qual, desvios poderiam ser computados e a extensão da mudança avaliada, para se desencadear respostas satisfatórias para neutralizar o desvio ocorrido. Para Noakes e seu grupo, contudo, variáveis fisiológicas possuem certo dinamismo devido às interações que ocorrem entre o meio ambiente interno e externo, fazendo com que exista, na verdade, não um ponto fixo, mas um ponto médio no comportamento de tais variáveis³¹.

Além dessa contradição à idéia de ponto fixo em seu modelo, o grupo enfatiza em sua obra que há certo paradoxo em nossa predisposição para a realização de exercício físico, pois, já que o mesmo impõe certas modificações em variáveis fisiológicas e existe esta natural tendência do organismo em protegê-las, que o exercício físico seria uma atividade anti-homeostática, porque descreve essas modificações desencadeadas pelo exercício físico como maléficas ao organismo. Portanto, não está claro no modelo do governador central “porque indivíduos iniciariam o exercício físico, uma vez que o aumento na atividade metabólica associada ao exercício caracteriza-se como uma condição anti-natural”³¹.

Sterling se opõe a discutir saúde utilizando a homeostase como paradigma. Segundo Sterling e Eyer⁹, saúde não significa apenas estabelecer meios de o organismo retornar ao estado de normalidade previsto pela homeostase, por meio de tratamento com drogas, por exemplo. O autor enfatiza que este procedimento pode desestruturar outros processos, como exemplificado no tratamento com diurético para controlar a hipertensão e evitar o derrame (AVC), mas que tem resultado em problemas cardíacos diversos. Na verdade, o autor sustenta que a hipertensão, em que pese seus efeitos nocivos, está de acordo com as condições atuais de vida.

Para Sterling, o problema não está em controlar a hipertensão em si, mas modificar as condições de vida do paciente tornando-a menos atribulada. Ou seja, para Sterling, saúde está relacionada com balanço entre anabolismo e catabolismo e não com uma causa específica ou fator primariamente responsável pelo padrão anormal de comportamento constatado em variáveis fisiológicas. Pode-se dizer, em função disso que o nível elevado de ativação do organismo pela sobrecarga do dia-a-dia da civilização moderna, certos fatores relacionados com catabolismo elevado poderiam criar um meio ambiente interno favorável ao desenvolvimento de problemas, como a hipertensão.

Contrariando essas idéias quanto ao universalismo do princípio alostático, Carpenter³² considera que o principal objeto da Fisiologia é, de fato, compreender a homeostase. Para ele, a noção de alostase possui conceitos vagos ou mal definidos e, em muitos casos, já ressaltados pela noção de controle homeostático por Moore-Ede³³, com sua noção de homeostase reativa e preditiva e pela heterostase de Selye¹⁵, principalmente quanto ao fenômeno da antecipação. Outra crítica vem do conceito de reostase de Mrosovsky³⁴, que a descreve com o seguinte exemplo: “quando um animal intacto se defronta naturalmente com mudanças em

sua homeostase, ocorrem respostas fisiológicas ou formas de comportamentos que são ativadas de maneira coordenada para defender a variável regulada”³⁵. Reostase significa que: “a qualquer momento o nível de um parâmetro (ou variável) é mantido próximo à referência ou ponto fixo por mecanismos homeostáticos, mas, ao longo do tempo, o nível de referência é alterado”.

Para Day³⁶, a proposta de Sterling e Eyer⁹ se baseia numa premissa homeostática falsa, porque, segundo o mesmo, Cannon nunca sugeriu que na homeostase todos os processos e parâmetros fisiológicos deveriam se manter constantes, na verdade, sugere que se encontra presente neste conceito a proposta de estabilidade através da mudança, como aparece na alostase. Além disso, segundo Day, mecanismos alostáticos como os descritos por McEwin são idênticos aos mecanismos homeostáticos propostos por Cannon. Day propõe, em função de suas críticas, uma nova maneira de conceituar estresse; porque, segundo ele, da maneira como definido por Selye e seguidores, estímulo estressor deve ser considerado “qualquer condição a que o organismo é exposto que resulte em alteração no padrão de normalidade homeostático”, como por exemplo, a resposta da insulina modificando sua concentração sanguínea nos leva a pensar que a alimentação é um agente estressor.

Day sugere, em função disso, algumas modificações na noção de estresse: “a definição de estresse de Selye deve diferenciar entre respostas seletivas (normalmente adequadas) a pequenas mudanças, e respostas não seletivas (emergenciais) a grandes mudanças, que neste caso reconhece-se a presença de um agente estressor”. “Estresse é uma resposta multi-sistêmica do corpo a qualquer modificação que ultrapassa, ou é julgada como ultrapassando, a capacidade dos mecanismos homeostáticos de resposta seletiva”³⁶. Outra definição de estresse que poderia ser adotada, integrando as anteriores, relaciona-se com a noção de hormese: “a resposta a um estressor não aumenta ou diminui monotonicamente com a elevação na dose, ao contrário, é normalmente caracterizada por relações não-lineares normalmente descritas em curvas dose-resposta no formato de “U”, “∩” ou “J”³⁷.

Em 1956, Selye fez a seguinte observação que ainda se aplica aos seus críticos, pois muitos deles interpretaram de maneira limitada sua proposta: “todas as reações biológicas promovem desvio acentuado da homeostase no órgão especificamente envolvido. Se todas essas reações forem incluídas na noção de estresse este conceito se tornaria supérfluo”. Além disso, o autor relata neste mesmo trabalho que a resposta ao estresse é, por definição, não-específica (síndrome de adaptação geral), uma vez que pode ser desencadeada por praticamente qualquer agente; mas o padrão de reação ao estresse é muito específico. Selye conclui seu trabalho propondo uma definição para estresse que inviabiliza as críticas de Woods descritas antes: “um estado manifesto por uma síndrome específica que consiste de todas as mudanças inespecificamente induzidas em um sistema biológico”⁶.

É possível especular que todo tipo de estresse induza o mesmo padrão de estimulação do corpo por intermédio do eixo hipotálamo-hipófise-glândula, com concomitante produção de hormônios moduladores de sua ação (síndrome de adaptação geral). Estes, por sua vez, atuariam especificamente em tecidos ou células a eles responsivos e especificamente ativados pelo estresse do estímulo, resultando em modificações específicas típicas da estimulação (princípio da especificidade). Ou seja, a via que conduz aos efeitos do estresse pode ser idêntica, independente do tipo de estímulo, enquanto que seus efeitos periféricos dependem do alvo afetado por este. Portanto, como todo tipo de estímulo induz efeitos orgânicos e celulares específicos, positivos ou não, em termos conceituais, o princípio da especificidade aplicada no treinamento físico-esportivo torna-se ambíguo ou desnecessária sua ênfase.

Segundo críticos da alostase, a noção de ponto fixo é fundamental na compreensão da homeostase. Um ponto fixo se relaciona com um estado aparentemente estável de um parâmetro (ou variável) que é mantido desta forma através da comparação de seu valor de referência com a magnitude da variação sofrida, determinado pelas próprias características do sistema⁷. Como o valor específico que é defendido pode variar em determinado momento em função de vários fatores, considera-se que as flutuações prolongadas em constantes fisiológicas são, de fato, defendidas. Cabanac³⁵, portanto, considera a reostase, homeorese e possivelmente a homeodinâmica conceitos mais apropriados porque reforçam fortemente a noção de ponto fixo, contrariada pela alostase. Essa é uma das razões de adotarmos neste trabalho a alostase ao invés da homeodinâmica ou homeorese como noção mais apropriada para explicar os processos fisiológicos e a própria mudança no desempenho devido ao treinamento físico.

Segundo Woods⁷, estabilidade das funções internas é uma condição necessária para a existência de vida independente; para isso, variações externas são a todo instante compensadas e postas em balanço com as necessidades internas. Citando Yates, Woods ressalta que “apesar de Bernard usar o termo *fixité* que é freqüentemente traduzido por constância, seria melhor se fosse traduzido por estabilidade”, porque o primeiro enfatiza apenas aspectos limitados da noção de homeostase proposto por Cannon, em que se uma vez atualizado, também consideraria aspectos envolvendo a presença de “feedback” positivo e não somente retroalimentação. Essa observação também está presente na definição de reostase de Mrosovsky que aponta que Cannon, ao utilizar o termo homeostase ao invés de homostase, se refere à similaridade, com alguma variabilidade, ao invés de igualdade³⁴.

Quanto ao exemplo do problema da obesidade nos EUA utilizado por Sterling, citado anteriormente, Woods acredita, assim como Cabanac, que a alimentação não seja uma variável regulada, mas um efector/resposta controlada que, dentre outras funções, estabiliza a variável regulada obesidade. Assim, a

alimentação poderia significar um comportamento que teria por função estabilizar a adiposidade. Contudo, muitos já mantiveram seu consumo de alimento e até o elevaram independente do gasto calórico reduzido, aumentando seu estado de obesidade. Ou seja, a proposta de Woods e Cabanac para ser aceita deve modificar a visão de que homeostase pode também ser controlada por comportamento antecipatório e por “feedback” positivo, dentre outros fatores, que não fazem parte da proposta inicial de Bernard, Cannon ou Selye. E, segundo McEwen e Wingfield²⁸, homeostase é um conceito que se aplica a poucos processos vitais ao organismo e não explica diversos aspectos da funcionalidade do organismo sob estresse.

Segundo Berridge³⁸, dentre os conceitos mais importantes no estudo do comportamento pela neurociência, a motivação e o natural impulso (predisposição, desejo) para a realização de determinadas formas de comportamento tem se baseado na noção de homeostase. De fato, para o autor, a noção de homeostase tem dominado as ciências comportamentais na questão envolvendo esses estudos que, no caso da fome e sede, as pesquisas realizadas nos últimos 50 anos têm sido destinadas à compreensão da existência de pontos fixos ou sinais de déficit responsáveis por esses comportamentos. Em sua discussão sobre mecanismos de “feedback” e regulação homeostática da fome e sede, o autor é claro em afirmar que não existem pontos fixos verdadeiros para regular esses comportamentos, na verdade, o autor os considera mais como pontos aparentes - ou pontos medianos na expressão utilizada por Noakes -, do que, de fato, pontos fixos verdadeiros. Ao citar Robert Bolles, Berridge concorda que “não existem pontos fixos no organismo quanto à fome e sede e, portanto, não existem mecanismos homeostáticos para esses comportamentos”.

A fome, segundo argumenta, não pode ser desencadeada pelo desvio do valor de referência. E, no caso do peso corporal, afirma que seu valor transita próximo a um valor moderadamente estável. Berridge afirma que esse valor sofre influências de vários fatores como: “não somente por impulsos internos ou mecanismos da saciedade, mas também por razões externas e palatabilidade do alimento”. Para o autor, “nosso conceito homeostático de ponto fixo no peso corporal é uma ficção”. Outro fato recente que inviabiliza argumentos homeostáticos na explicação desta questão, envolvem estudos que afirmam que possuímos mecanismos finos de controle e regulação interna na ausência de alimentos, mas processos de controle muito frágeis quando o alimento encontra-se a nossa disposição e em abundância³⁹.

Em função disso, como se explicaria a noção de que mecanismos da sede não são efetivos em contrabalançar as perdas hídricas sofridas pelo organismo que, quando ingere líquido, já apresenta certo grau de desidratação! Como explicar a mudança de nossa percepção alimentar quando estamos famintos e uma dieta simples acaba se tornando extremamente deliciosa! Podemos adicionar a essas indagações a

seguinte questão: por que realizamos exercícios físicos se são formas anti-homeostáticas de comportamentos? Essas são algumas indagações que não encontram explicações no conceito de homeostase.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conceito de homeostase tem sido utilizado pelo Esporte e Educação Física para explicar os efeitos do exercício e treinamento sobre o desempenho físico. Contudo, devido às limitações da homeostase recentemente identificadas a partir dos avanços na compreensão dos processos controladores e reguladores das funções internas, recomenda-se que se diferencie homeostase de alostase. Em geral, considera-se que alostase estaria mais em consonância com os processos internos que se apresentam em desequilíbrio constante, ou que seu suposto valor de referência pode mudar a todo instante; não se considerando, portanto, a existência de constância interna ou tendência a ela como um requisito fundamental da vida ou que possa explicar adequadamente os fenômenos atribuídos a ela. Nota-se, como consequência do paradigma homeostático aplicado ao treinamento físico, em que se objetiva a estabilidade interna, ao invés da mudança – que na verdade não passa de um paradoxo - certa ambigüidade quanto à explicação da mudança no desempenho físico devido ao treinamento. Além disso, através da prática orientada pela estabilidade homeostática pode-se promover modificações orgânicas e celulares que resultam em perda de complexidade sistêmica, com consequente redução na capacidade de elevar o desempenho físico por longo tempo, fenômeno conhecido por “barreira de desempenho (rendimento) físico”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pereira B. Limitações do método científico: implicações para a Educação Física. *Rev Paul Educ Fís* 1998;12(2):228-48.
2. Pereira B. Função das atividades motoras variadas para o rendimento físico: aspectos bioquímicos. *Rev Paul Educ Fís* 1995;9(2):147-63.
3. Le Moal M. Historical approach and evolution of the stress concept: A personal account. *Psychoneuroendocrinol* 2007;in press.
4. Eknoyan G. Emergence of the concept of endocrine function and endocrinology. *Adv Chronic Kidney Dis* 2004;11(4):371-6.
5. Cannon W. Organization for physiological homeostasis. *Physiol Rev* 1929;9:339-431.
6. Selye H. Stress and the general adaptation syndrome. *Br Med J* 1950;1(4667):1383-92.
7. Woods SC, Ramsay DS. Homeostasis: Beyond Curt Richter. *Appetite* 2007;in press.
8. Pakenas A, Souza Junior T, Pereira B. Dinâmica não-linear e exercício físico: conceitos e aplicações. *Rev Bras Med Esporte* 2007;no prelo.
9. Sterling P. Allostasis: a new paradigm to explain arousal pathology. In: Fischer S, Reason J, editors. *Handbook of Life Stress, Cognition and Health*. New York, NY: John Wiley & Sons; 1988. p. 629-49.

10. Pacak K, Palkovits M, Yadid G, Kvetnansky R, Kopin IJ, Goldstein DS. Heterogeneous neurochemical responses to different stressors: a test of Selye's doctrine of nonspecificity. *Am J Physiol* 1998;275(4 Pt 2):R1247-55.
11. Selye H. What is stress? *Metabolism* 1956;5(5):525-30.
12. Badyaev AV. Stress-induced variation in evolution: from behavioural plasticity to genetic assimilation. *Proc Biol Sci* 2005;272(1566):877-86.
13. Sterling P. Principles of allostasis: optimal design, predictive regulation, pathophysiology and rational therapeutics. In: Schulkin J, editor. *Allostasis, Homeostasis, and the Costs of Adaptation*. Cambridge: MIT Press; 2004.
14. Yates F. Order and complexity in dynamical systems: homeodynamics as a generalized mechanics for biology. *Math Comp Model* 1994;19(6-8):49-74.
15. Selye H. Homeostasis and heterostasis. *Perspect Biol Med* 1973;16(3):441-45.
16. Goldberger A, Peng C, Lipsitz L. What is physiologic complexity and how does it change with aging and disease? *Neurobiol Aging* 2002;23(1):23-6.
17. Weissmann G. The experimental pathology of stress: Hans Selye to Paris Hilton. *The FASEB J* 2007;21:2635-38.
18. Hawley J, Tipton K, Millard-Stafford M. Promoting training adaptations through nutritional interventions. *J Sports Sci*. 2006;24(7):709-21.
19. Hoppeler H, Fluck M. Normal mammalian skeletal muscle and its phenotypic plasticity. *J Exp Biol* 2002;205(Pt 15):2143-52.
20. Souza Junior TP, Pereira B. Adaptação e rendimento físico: considerações biológicas e antropológicas. *Rev Bras Ciênc Mov*. 2005;13(2):145-152.
21. Perdrizet GA. Hans Selye and beyond: responses to stress. *Cell Stress Chaperones* 1997;2(4):214-9.
22. Platonov VN. *Tratado Geral de Treinamento Desportivo*. São Paulo: Phorte; 2008.
23. McEwen BS. Stressed or stressed out: what is the difference? *J Psychiatry Neurosci* 2005;30(5):315-8.
24. Trosoi A. Gender differences in vulnerability to social stress. A darwinian perspective. *Physiol Behav* 2001;73:443-49.
25. Recordati G, Bellini TG. A definition of internal constancy and homeostasis in the context of non-equilibrium thermodynamics. *Exp Physiol* 2004;89(1):27-38.
26. Recordati G. A thermodynamic model of the sympathetic and parasympathetic nervous systems. *Auton Neurosci* 2003;103(1-2):1-12.
27. Rasia-Filho AA. Is there anything "autonomous" in the nervous system? *Adv Physiol Educ* 2006;30(1):9-12.
28. McEwen BS, Wingfield JC. The concept of allostasis in biology and biomedicine. *Horm Behav* 2003;43(1):2-15.
29. Newsholme EA, Parry-Billings M. Some evidence for the existence of substrate cycles and their utility in vivo. *Biochem J* 1992;285 (Pt 1):340-1.
30. Noakes TD, St Clair Gibson A, Lambert EV. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans: summary and conclusions. *Br J Sports Med* 2005;39(2):120-4.
31. Noakes TD. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scand J Med Sci Sports* 2000;10(3):123-45.
32. Carpenter RH. Homeostasis: a plea for a unified approach. *Adv Physiol Educ* 2004;28(1-4):180-7.
33. Moore-Ede MC. Physiology of the circadian timing system: predictive versus reactive homeostasis. *Am J Physiol* 1986;250(5 Pt 2):R737-52.
34. Mrosovsky N. *Rheotaxis: the physiology of change*. New York: Oxford Univ Press; 1990.
35. Cabanac M. Adjustable set point: to honor Harold T. Hammel. *J Appl Physiol* 2006;100(4):1338-46.
36. Day TA. Defining stress as a prelude to mapping its neurocircuitry: no help from allostasis. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry* 2005;29(8):1195-200.
37. Calabrese EJ, Bachmann KA, Bailer AJ, Bolger PM, Borak J, Cai L, et al. Biological stress response terminology: Integrating the concepts of adaptive response and preconditioning stress within a hormetic dose-response framework. *Toxicol Appl Pharmacol* 2007;222(1):122-8.
38. Berridge KC. Motivation concepts in behavioral neuroscience. *Physiol Behav* 2004;81(2):179-209.
39. Wells JC. The evolution of human fatness and susceptibility to obesity: an ethological approach. *Biol Rev Camb Philos Soc* 2006;81(2):183-205.

Endereço para correspondência

Benedito Pereira
Departamento de Esporte, Escola de Educação Física e Esporte,
Universidade de São Paulo. Av. Prof. Melo Moraes, 65,
CEP 05508-900, Cidade Universitária, Butantã, SP. Brasil
E-mail: benepe@usp.br

Recebido em 04/09/07
Revisado em 28/11/07
Aprovado em 10/12/07