

MODELAGEM ESTOCÁSTICA DA VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA

Jandre, Gabriel Rodrigues da Silva¹; Junior, Homero da Silva Nahum^{2,3}; Brasil, Roxana Macedo²;
Barreto, Ana Cristina Lopes y Glória Barreto²

237

Resumo

Objetivando modelar a VFC por série temporal, avaliados foram 102 homens com, pelo menos, 12 meses de prática de HIIT, e divididos em Adulto Jovem (n = 62 pessoas, Idade = $26,20 \pm 1,30$ anos) e Adulto (n = 40 pessoas, Idade = $31,75 \pm 0,96$ anos). Aplicou-se a regressão por pontos de inflexão, utilizando o *Joinpoint Regression Program*, 5.0.2 para cada faixa etária e todo o grupo. Os resultados demonstraram serem os modelos estatisticamente significativos (valor-p < 0,05), tendo as curvas estocásticas da VFC desenhos e mudanças percentuais similares em cada período considerado. Porém, as expressões foram distintas, porque os coeficientes significativos eram em Adulto Jovem, o Intercepto; Adulto, Intercepto, Ponto 1 e Ponto 2 – Ponto 1; e em Todos, Intercepto e Ponto 2 – Ponto 1. Concluiu-se, então que os modelos de série temporal foram satisfatórios à descrição da VFC.

Palavras-chave: Ponto de inflexão; Série temporal; Fisiologia do exercício; Processo estocástico.

Abstract

Aiming to model HRV through time series, 102 men with at least 12 months of HIIT practice were evaluated, and divided into Young Adult (n = 62 people, Age = 26.20 ± 1.30 years) and Adult (n = 40 people, Age = 31.75 ± 0.96 years). Inflection point regression was applied, using the *Joinpoint Regression Program*, 5.0.2 for each age group and the entire group. The results demonstrated that the models were statistically significant (p-value < 0.05), with stochastic HRV curves drawings and similar percentage changes in each period considered. However, the expressions were different, because the significant coefficients were in Young Adult, the Intercept; Adult, Intercept, Point 1 and Point 2 – Point 1; and in All, Intercept and Point 2 – Point 1. It was concluded, then, that the time series models were satisfactory for describing HRV.

Keywords: Joinpoint; Time serie; Physiology of exercise; Stochastic process.

Introdução

A Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) seria relevante indicador da intensidade do exercício, portanto, a princípio, poderia ser utilizada para controle do esforço do praticante ou atleta (Barreto, 2023). Pelas inervações simpáticas e parassimpáticas, o Sistema Nervoso Autônomo (SNA) controlaria o ciclo cardíaco (Ferreira *et al.*, 2020).

De acordo com Delpón (2005), o ciclo cardíaco seria o conjunto dos fenômenos fisiológicos entre duas diástoles atriais, quando cada átrio se encheria de sangue para

¹ Graduando em Educação Física no Centro Universitário Celso Lisboa – RJ/Brasil

² Docentes do Curso de Educação Física do Centro Universitário Celso Lisboa - RJ/Brasil

³ Docente da Escola de Saúde da Universidade Candido Mendes – RJ/Brasil

ejetá-lo aos ventrículos. Durante a diástole, o sangue chegaria no átrio direito pelas veias cavas inferior e superior e no átrio esquerdo pelas veias pulmonares, tendo as valvas atrioventriculares fechadas. No momento em que a pressão atrial superaria a ventricular, a sístole dos átrios ocorreria, então aquelas valvas se abririam e o sangue ganharia os ventrículos a favor do gradiente.

Negreira-Caamaño, Jiménez-Díaz e Higuera-Sobrinho (2023) afirmaram que o sangue atrial restante seria levado ativamente aos ventrículos, dado que o nó sinoatrial geraria potencial de ação no miocárdio, favorecendo a ejeção da fração residual. Sequencialmente à diástole ventricular ocorreria a sístole como resultado de outro potencial de ação. A pressão ventricular tenderia a se elevar superando aquela das valvas semilunares, as quais se abririam conduzindo o sangue às artérias aorta e pulmonares. Então, ocorreria a diástole ventricular e o processo se reiniciaria (Rangel, 2006).

Todo o processo fisiológico dependeria da somação de estímulos excitatórios e inibitórios, os quais seriam responsabilidade do Sistema Nervoso Simpático (SNS) e Parassimpático (SNP), nessa ordem. Em última análise, equivalente seria afirmar que a Frequência Cardíaca (FC) estaria sob o controle do SNA, especificamente, em situações estressantes, como a prática de exercícios físicos, o SNS proporcionaria a elevação da FC. Porém, no processo de retorno à calma, o SNP, paulatinamente, se sobreporia até a recuperação da homeostase, momento de repouso (Farah, 2020; Benjamim *et al.*, 2021).

Talvez, a melhor representação do funcionamento cardíaco residiria no eletrocardiograma, para o caso ora estudado, o complexo QRS seria destacadamente relevante, pois representaria a despolarização ventricular, ou seja, a sístole dos ventrículos. O ponto R seria o máximo dessa contração e o intervalo RR, a distância entre ondas R sucessivas, dada em milissegundos (Silva, 2023). E o comportamento do conjunto desses intervalos caracterizaria a VFC. Logo, tratar-se-ia de fenômeno dependente do tempo, portanto, essencialmente, um processo estocástico em estado contínuo. Então, passível de submissão à modelagem por série temporal (Morettin e Toloj, 2006).

Dentre os diversos métodos, aquele por pontos de inflexão (joinpoints) consideraria os momentos nos quais alguma alteração significativa ocorreu (Zhang e Siegmund, 2007; Kim e Kim, 2016; Kim *et al.*, 2017). Isso foi empregado para estimar a prevalência de hanseníase no estado de São Paulo (Gonçalves, 2020) e em Fortaleza, Ceará (Brito *et al.*, 2016), a tendência de mortalidade por tuberculose no Brasil (Souza *et al.*, 2019) e por melanoma na região nordeste (Lemos *et al.*, 2022), e internações por hipertensão em

Alagoas (Almeida *et al.* 2019). Na Educação Física, o método foi utilizado por Garcia-Manso *et al.* (2007) para modelar a variabilidade da cadência cardíaca, e Gorla (2018) para analisar a variação da força palmar em atividades cotidianas. Então, o objetivo do presente estudo foi modelar a VFC por série temporal.

Materiais e Métodos

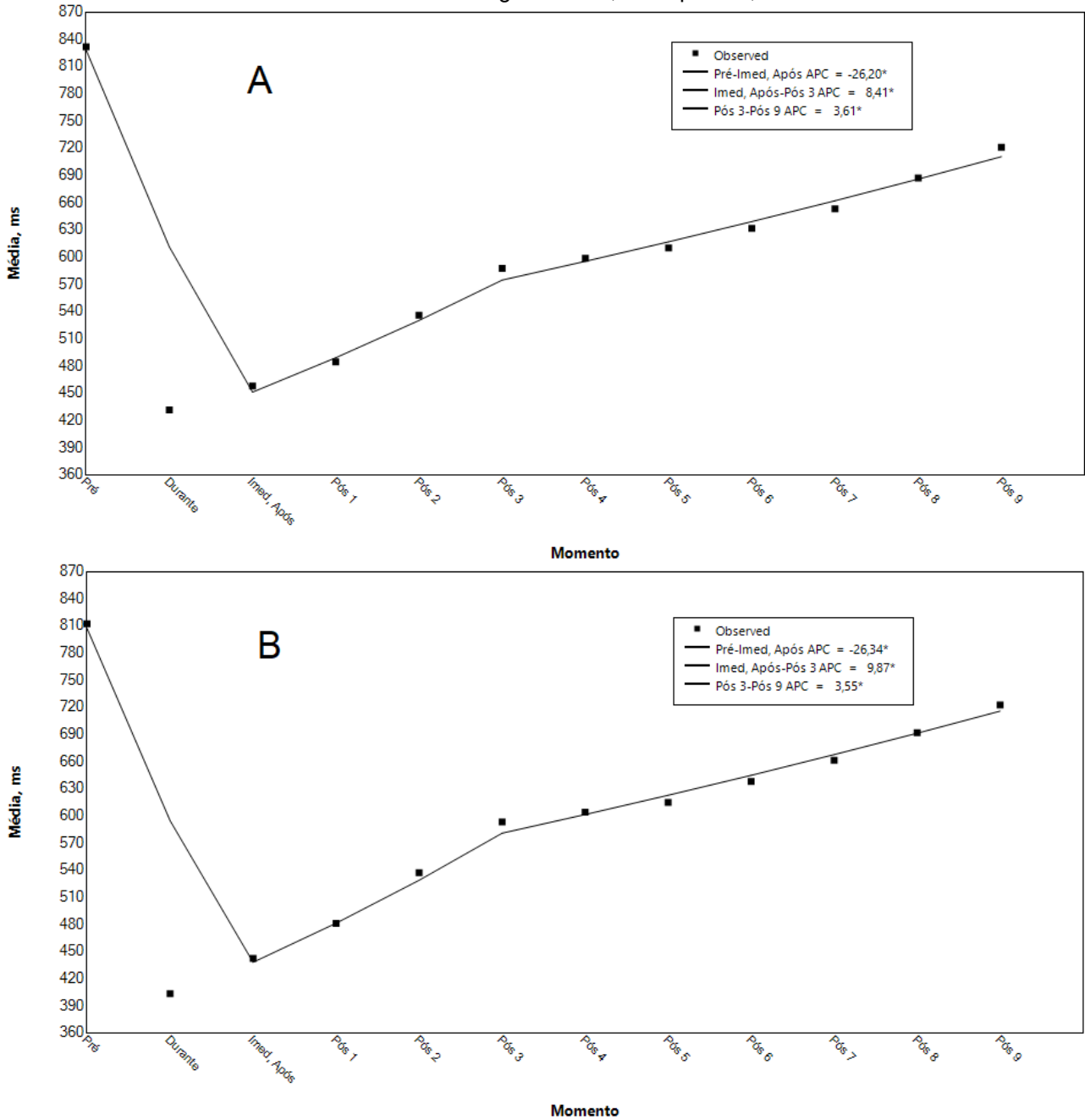
O grupo de voluntários foi composto por 102 homens, divididos nos grupos Adulto Jovem (n = 62 pessoas, Idade = $26,20 \pm 1,30$ anos, [20,00; 29,00]) e Adulto (n = 40 pessoas, Idade = $31,75 \pm 0,96$ anos, [30,00; 39,00]). Todos praticantes de treinamento intervalado de alta intensidade (*High Intensity Interval Training*, HIIT) há, pelo menos, 12 meses e normotensos, constituído por 21-15- 9 repetições de *thrusters* e *pull ups* (Barreto *et al.*, 2023). O primeiro seria a combinação do agachamento frontal com desenvolvimento. O *pull up* seria a flexão de braços na barra fixa. A modelagem de série temporal foi orientada pela regressão por pontos de inflexão (Kim *et al.*, 2000; Clegg *et al.*, 2009), utilizando o *Joinpoint Regression Program*, 5.0.2, may, 2023 (Statistical Research and Applications Branch, National Cancer Institute, EUA).

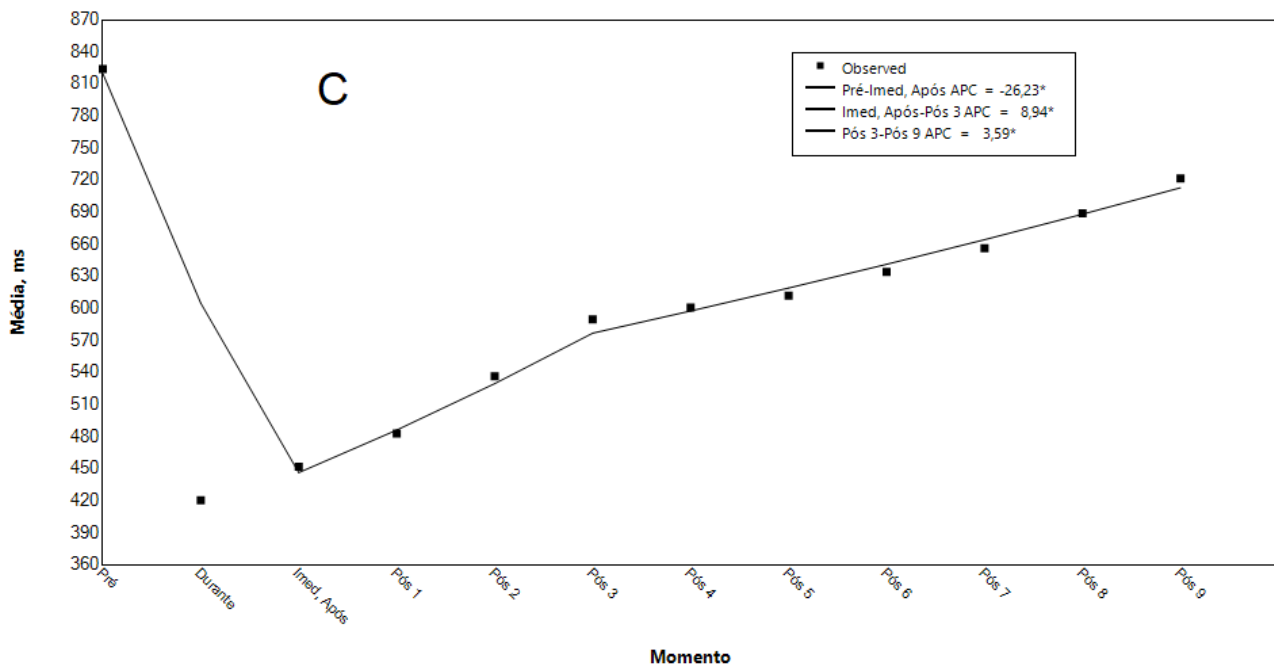
Discussão

Os grupos apresentaram pontos de inflexão nos momentos Imed. Após e Pós 3. Até o primeiro (Pré ao Imed. Após), o decrescimento se estabeleceu significativamente (valor- $p < 0,05$), porém entre os grupos as estimativas foram próximas (Figura 1). Estes resultados eram esperados, pois no momento Pré, os indivíduos estavam em repouso, ao iniciarem o exercício a demanda cardíaca aumentou, exigindo a elevação das frequências cardíaca e respiratória, portanto o IRR diminuiu.

Vanderlei *et al.* (2009) defenderam que esse mecanismo seria determinado pela resposta barorreceptora e frequência cardíaca, portanto seria um fenômeno essencialmente neural. Aubert, Seps e Bechers (2003) contextualizaram que as vias aferentes captariam os estímulos, os quais seriam elementos da somação, cujo resultados estabeleceria via eferente as ações simpáticas (vagas) e parassimpáticas, resultando na modulação da modificação pontual da frequência cardíaca. Logo, explicitando essa variável como uma das respostas adaptadas à prática do exercício físico.

Figura 1: Modelos de Pontos de Inflexão, A: Grupo Adulto Jovem; B: Grupo Adulto; C: Todos. *Períodos estatisticamente significativos, valor-p <= 0,05





Fonte: Os autores (2024)

Acharya *et al.* (2006) e Paschoal, Petrelluzzi e Gonçalves (2003) advogaram que a ação simpática elevaria a frequência cardíaca e ocorreria, simultaneamente, a mitigação da parassimpática. Então, até o momento Imed. Após, a atividade do sistema nervoso simpático predominou. Subsequentemente, o esperado era o retorno à condição de repouso, então o sistema nervoso parassimpático se sobreporia, paulatinamente, ao simpático, conforme observado no aumento do IRR. Isso se deu mais rapidamente até o instante Pós 3 (15s), sofrendo desaceleração nos momentos seguintes. Assim, o regime de alteração do IRR se tornou mais lento. Valeria destacar, imperativamente, que os grupos detiveram comportamentos similares, o que poderia ser, parcialmente, explicado pela proximidade das faixas etárias.

Comparativamente aos adultos, os adultos jovens tenderiam a apresentar melhor condicionamento físico por conta do pico de desenvolvimento fisiológico, que estaria atrelado à faixa etária (Prado, Dias e Trombetta, 2006). Fatores como maior produção de hormônios testosterona e GH, por exemplo, corroborariam para que esse resultado fosse esperado (Sampaio e Medrado, 2019; Rodrigues, Ferandes e Lubanco, 2022). Por conta disso, homens adultos já poderiam estar entrando em processo, ainda pouco expressivo, de sarcopenia (Confortin *et al.*, 2018; Martinez *et al.*, 2021), o que corroboraria à expectativa de melhor rendimento dos adultos jovens.

Na expectativa de que a consideração fosse verdadeira, primordial seria a compreensão das ações proprioceptivas do fuso muscular e Órgão Tendinoso de Golgi (OTG). Badaro, Silva e Beche (2007) defenderam que o primeiro teria a função de responder às variações no comprimento das fibras musculares. Uma vez que no alongamento muscular, o neurônio presente na fibra intrafusal enviaria impulsos à medula espinhal fazendo sinapse com o motoneurônio, que por sua vez, enviaria impulsos às fibras musculares alongadas, inibindo o excessivo alongamento. Tal providência consistiria em proteção, evitando o estiramento das fibras. Logo, a função do fuso nos exercícios seria, essencialmente, limitá-los às amplitudes alcançadas pelos músculos.

Com relação ao OTG, Taneda e Pompeu (2006) esclareceram que a função seria equalizar as forças submetidas ao músculo. Assim, se a força exigida pelo músculo fosse maior do que o suportável, o OTG inibiria a realização do trabalho, protegendo as estruturas envolvidas na solicitação. Então, nos voluntários do corrente estudo, o OTG tenderia a limitar as ações solicitadas pelo praticante, especialmente na tentativa de realização de trabalho com carga superior ao tolerável pelo indivíduo.

Medeiros, Silva e Machado Filho (2022) advogaram que o organismo tenderia a superar o estímulo externo imposto, alterando as estruturais corporais para favorecer a homeostase, tal ideia enunciaria o princípio da adaptação ao treinamento. As adaptações, redução da frequência cardíaca de repouso, amplitudes de movimento (adaptação do fuso muscular), suporte a cargas superiores (adaptação do OTG) e VFC, por exemplo, tenderiam a serem maiores quanto mais treinado fosse o praticante, sem desconsiderar a dependência da continuidade do treinamento (Carvalho Junior, 2020) e individualidade biológica (Lussac, 2008).

Precipuamente, o princípio da interdependência volume-intensidade, que estabeleceu a relação inversa entre esses parâmetros (Barbosa, Rocha e Silva, 2023), estabeleceria que quanto maior o número de repetições (volume), menor seria a força exercida em cada uma delas (intensidade). Então, elevações e reduções nesses parâmetros poderiam influenciar o estresse da carga de treinamento e os pontos de fadiga, logo a ação vagal na VFC (Freitas, Miranda e Bara Filho, 2009). Todavia, aspectos como frequência e densidade, relação esforço e pausa, deveriam ser considerados, pois se a recuperação for inadequada aos exercícios intensos (Frequência Cardíaca, bpm \in [80, 89]) haveria associação da elevação da ação simpática com a atenuação da parassimpática (Earnest *et al.*, 2004), resultado similar ao aumento repentino da intensidade (Baumert *et*

al., 2006). Logo, alterações na VFC em repouso guardariam relação com o esforço cumulativo (Freitas, Miranda e Bara Filho, 2009; Marques Junior, 2023) e condicionamento físico (Du *et al.*, 2005).

Tais características seriam necessárias, talvez, não suficientes, ao controle de treino. Singularmente, se o praticante fizesse hiponatremia leve ($125 \text{ mmol/l} \leq [\text{Na}+\text{sérico}] < 135 \text{ mmol/l}$), portanto assintomático (Akyüz *et al.*, 2022). A contração muscular cardíaca se iniciaria na geração do potencial de ação no nodo sinoatrial, que seria propagado pelas fibras atriais. Assim, os canais de Na^+ se abririam, permitindo a entrada do íon na célula, quando a Diferença De Potencial (DDP) alcançasse -70 mV . Nesse limite, os canais rápidos de Na^+ seriam abertos, elevando o influxo e a DDP para o intervalo $[\text{+}20 \text{ mV}; \text{+}30 \text{ mV}]$. Os canais se fechariam, permanecendo assim até o retorno da $\text{DDP} = -90 \text{ mV}$. Todo o processo corresponderia ao complexo QRS do eletrocardiograma, ou seja, despolarização do miocárdio (Neto e Neto, 2003; Del Carlo *et al.*, 2007). Portanto, na hiponatremia ocorreria o comprometimento dos batimentos cardíacos, sobretudo se a hidratação fosse inadequada, pois o aumento excessivo do volume de água, reduziria a concentração plasmática do íon em questão, favorecendo os efeitos indesejados (Hirata, Vist e Liberali, 2008; Ribeiro e Liberali, 2010). Em última análise, a reposição hídrica deveria ser prescrita, objetivando a hidratação, termorregulação e manutenção do equilíbrio hidroeletrólítico, dessa forma contribuindo à saúde e ao desempenho físico (Silva *et al.*, 2011).

Na ciência das considerações ora feitas, compreensível se tornariam as distinções entre os modelos (Tabela 1), no Adulto Jovem, ($\sum \varepsilon^2 = 57,95$; $\bar{X} \varepsilon^2 = 9,66$), a significância estatística se confirmou somente para o Intercepto. Ao passo que, no Adulto ($\sum \varepsilon^2 = 36,64$; $\bar{X} \varepsilon^2 = 6,10$), somente entre os Pontos 2 e 3 não se pode descartar a igualdade. Essa característica, também, se apresentou em Todos ($\sum \varepsilon^2 = 88,42$; $\bar{X} \varepsilon^2 = 14,74$), acrescida da ausência de significância do Ponto 1.

Contudo, todos os períodos conquistaram mudanças significativas nos três modelos desenvolvidos (Tabela 2). Em Adulto Jovem, no primeiro período (Segmento), o decréscimo foi de, aproximadamente, 26,20%, elevando-se nos dois períodos seguintes em, respectivamente, 8,41% e 3,61%. A mudança entre primeira e última aferições foi de $-1,38\%$, ratificando a queda da VFC e convergindo aos aspectos discutidos. As tendências de APC se repetiram nos demais modelos.

Em última análise, ratificou-se que as faixas etárias consideradas detinham similares curvas de evolução de VFC e comportamentos de Percentual de Mudança, porém com

diferentes representatividades do fenômeno em estudo, o que foi suficiente para considerar válido o estudo da VFC segmentado pela condição etária, conforme apontado por Paschoal *et al.* (2006), Lopes *et al.* (2007), Antelmi *et al.* (2009), França e Arce (2012), Vanderlei *et al.* (2012) e Trevizani, Benchimol-Barbosa e Nadal (2012).

Tabela 1: Estimativas dos Coeficientes por Modelo (n = 12; Parâmetros = 6; GL = 6), $\alpha = 0,05$

Modelo	Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	t-Student	Valor-p
Adulto Jovem	Intercepto	6,72	0,02	272,22	0,00
	Ponto 1	-0,30	0,15	-1,97	0,12
	Ponto 2 - Ponto 1	0,38	0,16	2,42	0,07
	Ponto 3 - Ponto 2	-0,04	0,04	-1,21	0,29
Adulto	Intercepto	6,69	0,01	455,22	0,00
	Ponto 1	-0,30	0,08	-3,73	0,02
	Ponto 2 - Ponto 1	0,40	0,09	4,64	0,01
	Ponto 3 - Ponto 2	-0,06	0,03	-2,24	0,09
Todos	Intercepto	6,71	0,02	332,62	0,00
	Ponto 1	-0,30	0,12	-2,51	0,06
	Ponto 2 - Ponto 1	0,40	0,12	3,11	0,04
	Ponto 3 - Ponto 2	-0,05	0,03	-1,54	0,20

Fonte: Os autores (2024)

Tabela 2: Estimativas das Tendências por Modelo, $\alpha = 0,05$

Modelos	Segmento	Percentual de Mudança (APC)
Adulto Jovem	Pré – Imed. Após	-26,20* [-30,47; -21,91]
	Imed. Após – Pós 3	8,41* [4,84; 12,94]
	Pós 3 – Pós 9	3,61* [2,19; 4,22]
	Pré – Pós 9	-1,38* [-1,74; -0,60]
Adulto	Pré – Imed. Após	-26,34* [-31,32; -21,99]
	Imed. Após – Pós 3	9,87* [5,56; 15,25]
	Pós 3 – Pós 9	3,55* [1,99; 4,34]
	Pré – Pós 9	-1,09 [-1,46; -0,20]
Todos	Pré – Imed. Após	-26,23* [-30,61; -22,14]
	Imed. Após – Pós 3	8,94* [5,15; 13,57]
	Pós 3 – Pós 9	3,59* [2,29; 4,25]
	Pré – Pós 9	-1,26 [-1,61; -0,50]

Fonte: Os autores (2024)

Ferreira (2022) objetivou avaliar a sensibilidade da VFC à modulação do SNA, analisando 11 homens e seis mulheres, com mais de 12 meses de treinamento, e

submetidos a quatro sessões de HIIT e duas sessões de exercício aeróbio de baixa intensidade, aferindo a VFC diariamente pela manhã. O emprego da média no modelo não possibilitou a identificação das modulações nos distintos treinos, o que foi atribuído à heterogeneidade dos grupos. Aspecto divergente dos resultados conquistados no corrente estudo, possivelmente pelo método estocástico empregado.

Imperativamente, necessário seria destacar que a média como estatística poderia ser influenciada pela dispersão das variáveis aferidas, logo o resultado inadequado salientado anteriormente dependeria da variável da VFC selecionada à avaliação (Fronchetti *et al.*, 2006; Paiva *et al.*, 2011), modalidade esportiva (Sousa *et al.*, 2020), antropometria (Cayres *et al.*, 2015), hábitos cotidianos (Alves *et al.*, 2015) e público (Davini *et al.*, 2004; Paschoal, Polessi e Simioni, 2008), dentre outros domínios intervenientes.

À luz da Estatística, Yu *et al.* (2007) defenderam que o modelo por pontos de inflexão poderia ter os parâmetros otimizados pela busca em grade (grid-search), o qual permitiria configurá-los a partir de um espaço de busca definido (Costa Filho *et al.*, 2019). A eficiência computacional poderia ser melhorada pelo emprego de ajuste contínuo, que seria automatizar o controle de ganho. Isso foi demonstrado por simulação para grupos pequenos com intervalos de confiança assintóticos por Kim, Yu e Feuer (2008) ao implementarem o grid-search e algoritmo de ajuste contínuo de Hudson, indicando a robustez das inferências assintóticas.

Ainda nesse norte, Fay, Kim e Hachey (2007) propuseram cessar as replicações do modelo, quando o valor-p nas primeiras amostragens fosse grande ou pequeno o suficiente, então as propriedades desses subconjuntos do banco de dados deveriam ser investigadas. Essa providência reduziria a quantidade de testes de razão de probabilidade, tradicionalmente, realizados pela regressão por pontos de inflexão para determinar o melhor modelo, como consequência haveria mitigação do tempo e aumento da eficiência computacionais.

Possivelmente, no domínio estatístico, o problema primeiro em estudos de modelagem residiria na seleção do modelo mais adequado (Bozdangan, 1987), porque a escolha deveria explicar o fenômeno sem perda da parcimônia (a quantidade de parâmetros deveria ser mínima). Por conta disso, classicamente, algum critério de maximização da função de verossimilhança seria empregado (Nesi *et al.*, 2013; Abbara, 2018; Silveira, 2022). Notadamente, no método ora aplicado, o aspecto sensível faria residência no número de pontos de inflexão determinado pelo procedimento de permutação. Entretanto,

Kim, Yu e Feuer (2009) demonstraram que essa seleção seria, sob determinadas condições, equivalente ao Critério de Informação Bayesiano, Critério Bayesiano de Schwarz ou Critério de Schwarz, sempre referenciado como BIC. Nesse, o pressuposto seria a existência do “modelo verdadeiro”, logo o objetivo seria maximizar a probabilidade de estimá-lo, o que se substancializaria no menor valor de BIC (Nogueira *et al.*, 2023; Soeiro, Vasconcelos e Caldas, 2023), ou de forma pragmática, o melhor ajuste forneceria o menor número de segmentos à estimativa do Percentual de Mudança.

Outra crítica à regressão por pontos de inflexão se concentraria na necessidade de comparar os modelos de cada segmento, os quais poderiam, matematicamente, serem expressos distintamente, contudo idênticas as respectivas funções de regressão. Debruçados sobre o tema, Kim *et al.* (2004) desenvolveram estatística teste para comparar funções de regressão linear segmentada aos pares, indicando se seriam paralelas ou idênticas.

Considerações Finais

Objetivando modelar a VFC por série temporal, avaliados foram 102 homens praticantes de HIIT. Os resultados demonstraram serem os modelos estatisticamente significativos, tendo as curvas estocásticas da VFC desenhos e mudanças percentuais similares. Mas, os modelos apresentariam expressões distintas em razão da faixa etária. Concluiu-se, então que os modelos de série temporal foram satisfatórios à descrição da VFC.

Aos futuros estudos recomenda-se refazer o modelo, porém utilizando a faixa etária como categoria, o que limitaria os resultados a um único modelo. A pormenorização poderia ser obtida ajustando o modelo pela idade. Finalmente, talvez, a implementação do BIC poderia favorecer a parcimônia dos modelos.

Referências

ABBARA, OMF. **Ensaio em econometria de séries temporais**. Tese (Doutorado em Estatística) - Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica. Universidade Estadual de Campinas. Campinas (SP), 2018.

ACHARYA, UR *et al.* Heart rate variability: a review. **Medical & Biological Engineering & Computing**, v. 44, n. 12, p. 1031-1051, 2006.

AKYÜZ, A *et al.* Papel dos níveis de sódio na fibrilação atrial na insuficiência cardíaca: jogador ativo ou bystander? **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 118, n. 4, p. 712-718, 2022.

ALMEIDA, NR *et al.* Interações por crise hipertensiva em Alagoas, 2008 a 2015: estudo de séries temporais. **Revista Norte Nordeste de Cardiologia**, v. 9, n. 4, p. 14-19, 2019.

ALVES, LAA *et al.* Comparação da modulação autonômica cardíaca durante esforço de fumantes e não fumantes. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 21, p. 462-466, 2015.

ANTELMÍ, I *et al.* Recuperação da frequência cardíaca após teste de esforço em esteira ergométrica e variabilidade da frequência cardíaca em 24 horas em indivíduos saudáveis. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 90, n. 6, p. 413-418, 2008.

AUBERT, AE; SEPS, B; BECKERS, F. Heart rate variability in athletes. **Sports Medicine**, v. 33, n. 12, p. 889-919, 2003.

BADARO, AFV; SILVA, AH; BECHE, D. Flexibilidade versus alongamento: esclarecendo as diferenças. **Saúde**, v. 33, n. 1, p. 32-36, 2007.

BARBOSA, BWS; ROCHA, PHM; SILVA, MFL. Impact of concentric muscle failure on high and low intensity resistance training in hypertrophy programs: A systematic review. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 13, p. e122121344361, 2023.

BARRETO, AC *et al.* Heart rate variability and blood pressure during and after three CrossFit® sessions. **Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación**, n. 47, p. 311-316, 2023.

BARRETO, ACLG. **Respostas fisiológicas e bioquímicas em indivíduos praticantes de Crossfit® submetidos a protocolos de treinamento físico agudos e crônicos**. Tese (Doutorado em Educação Física) – Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Educação Física. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2023.

BAUMERT, M *et al.* Heart rate variability, blood pressure variability, and baroreflex sensitivity in overtrained athletes. **Clinical Journal of Sports Medicine**, v. 16, n. 5, p. 412-417, 2006.

BENJAMIM, CJR *et al.* Ação da cafeína no sistema nervoso central e na variabilidade da frequência cardíaca. **Id on Line Revista Multidisciplinar e de Psicologia**, v. 14, n. 54, p. 405-409, 2020.

BOZDONGAN, H. Model selection and Akaike's Information Criterion (AIC): The general theory and its analytical extensions. **Psychometrika**, v. 52, n. 3, p. 345-370, 1987.

BRITO, AL *et al.* Tendência temporal da hanseníase em uma capital do Nordeste do Brasil: epidemiologia e análise por pontos de inflexão, 2001 a 2012. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 19, n. 1, p. 194-204, 2016.

CARVALHO JUNIOR, AP. **Análise da carga horária de treinamento físico militar dos cadetes do 4º ano da AMAN**: uma abordagem por meio do princípio científico da continuidade. Trabalho de

Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Militares) – Academia Militar das Agulhas Negras. Resende (RJ), 2020.

CAYRES, SU *et al.* Prática esportiva está relacionada à atividade parassimpática em adolescentes. **Revista Paulista de Pediatria**, v. 33, n. 2, p. 174-180, 2015.

CLEGG, LX *et al.* Estimating average annual percent change in trend analysis. **Statistics in Medicine**, v. 28, n. 29, p. 3670-3678, 2009.

CONFORTIN, SC *et al.* Sarcopenia e sua associação com mudanças nos fatores socioeconômicos, comportamentais e de saúde: Estudo EpiFloripa Idoso. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 34, e00164917, 2018.

COSTA FILHO, SVS *et al.* Configuração de algoritmos de aprendizado de máquina na modelagem florestal: um estudo de caso na modelagem da relação hipsométrica. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 4, p. 1501-1515, 2019.

DAVINI, R *et al.* Frequência cardíaca de repouso e modulação parassimpática cardíaca em atletas idosos e idosos fisicamente ativos. **Revista de Ciências Médicas**, v. 13, n. 4, p. 307-315, 2004.

DEL CARLO, CH *et al.* Desenvolvimento sistêmico da insuficiência cardíaca. **Revista da Sociedade de Cardiologia do Estado de São Paulo**, v. 17, n. 3, p. 222-228, 2007.

DELPÓN, JTE. **La función de bomba del corazón: el ciclo cardíaco**. In TRESGUERRES, JAF *et al.* Fisiología Humana. Madrid (Espanha): McGraw-Hill Interamericana de España, 2005, p.485-506.

DU, N *et al.* Heart rate recovery after exercise and neural regulation of heart rate variability in 30-40 year old female marathon runners. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 4, n. 1, p. 9-17, 2005.

EARNEST, PC *et al.* Relation between physical exertion and heart rate variability characteristics in professional cyclists during the Tour of Spain. **British Journal of Sports Medicine**, v. 38, n. 5, p. 568-575, 2004.

FARAH, BQ. Variabilidade da frequência cardíaca como indicador de risco cardiovascular em jovens. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 115, n. 1, p. 59-60, 2020.

FAY, MP; KIM, H-J; HACHEY, M. On using truncated sequential probability ratio test boundaries for monte carlo implementation of hypothesis tests. **Journal of Computational and Graphical Statistics**, v. 16, n. 4, p. 946-967, 2007.

FERREIRA, AP *et al.* Análise do sistema nervoso autônomo de indivíduos jovens com diabetes mellitus tipo 1. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 12, n. 11, e3651, 2020.

FERREIRA, DCP. **Impacto da intensidade da sessão de crossfit na resposta da variabilidade da frequência cardíaca**. Dissertação (Mestrado em Ciências do Desenvolvimento Humano e Tecnologias) – Instituto de Biociências. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro (SP), 2022.

FRANÇA, R; ARCE, N. Análise da variabilidade da frequência cardíaca em indivíduos hipertensos submetidos à hidroterapia. **Colloquium Vitae**, v. 4, n. 1, p. 01-09, 2012.

FREITAS, DS; MIRANDA, R; BARA FILHO, M. Marcadores psicológico, fisiológico e bioquímico para determinação dos efeitos da carga de treino e do overtraining. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, v. 11, n. 4, p. 457-465, 2009.

FRONCHETTI, L *et al.* Indicadores de regulação autonômica cardíaca em repouso e durante exercício progressivo: aplicação do limiar de variabilidade da frequência cardíaca. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, v. 6, n. 1, p. 21-28, 2006.

GARCIA-MANSO, JM *et al.* Análise da resposta HRV em uma prova de esforço incremental: análise tempo-frequência. **Fitness and Performance Journal**, v. 6, n. 3, p. 181-187, 2007.

GONÇALVES, FD. **Tendências temporais de coeficiente de detecção e prevalência de hanseníase no estado de São Paulo: uma análise tipo joinpoint regression**. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública). Programa de Saúde Coletiva. Faculdade de Medicina. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filholl. Botucatu (SP), 2020.

GORLA, JA. **Estudo da musculatura flexora dos dedos a partir da análise das curvas força-tempo**. Dissertação (Mestrado em Bioengenharia). Universidade de São Paulo. São Carlos (SP), 2018.

HIRATA, NR; VIST, P; LIBERALI, R. Hiponatremia em atletas. **RBNE - Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**, p. 2, n. 12, p. 462-471, 2008.

KIM, HJ *et al.* Comparability of segmented line regression models. **Biometrics**, v. 60, n. 4, p. 1005-1014, 2004.

KIM, HJ *et al.* Improved confidence interval for average annual percent change in trend analysis. **Statistics in Medicine**, v. 36, n. 19, p. 3059-3074, 2017.

KIM, HJ *et al.* Permutation tests for joinpoint regression with applications to cancer rates. **Statistics in Medicine**, v. 19, n. 3, p. 335-351, 2000.

KIM, HJ, YU, B; FEUER, EJ. Selecting the number of change-points in segmented line regression. **Statistica Sinica**, v. 19, n. 2, p. 597-609, 2009.

KIM, HJ; YU, B; FEUER, EJ. Inference in segmented line regression: a simulation study. **Journal of Statistical Computation and Simulation**, v. 78, n. 11, p. 1087-1103, 2008.

KIM, J; KIM, HJ. Consistent model selection in segmented line regression. **Journal of Statistical Planning and Inference**, v. 170, p. 106-116, 2016.

LE MOS, MAS *et al.* Mortalidade por melanoma nas capitais do Nordeste do Brasil, 2001-2017: análise pelo modelo de regressão por pontos de inflexão. **Surgical & Cosmetic Dermatology**, v. 14, e20220145, 2022.

LOPES, FL *et al.* Redução da variabilidade da frequência cardíaca em indivíduos de meia-idade e o efeito do treinamento de força. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 11, p. 113-119, 2007.

LUSSAC, RMP. Os princípios do treinamento esportivo: conceitos, definições, possíveis aplicações e um possível novo olhar. **Revista Digital**, año 13, n. 121, 2008. Disponível em: <https://www.efdeportes.com/efd121/os-principios-do-treinamento-esportivo-conceitos-definicoes.htm>.

MARQUES JUNIOR, NK. Carga de treino do microciclo da periodização esportiva. **Cuerpo, Cultura Y Movimiento**, v. 13, n. 1, p. 38–69, 2023.

MARTINEZ, BP *et al.* Atualização: sarcopenia. **Revista Pesquisa em Fisioterapia**, v. 11, n. 4, p. 841-851, 2021.

MEDEIROS, LF; SILVA, AC; MACHADO FILHO, R. A relação entre a sobrecarga de treinamento e hipertrofia muscular em praticantes de musculação. **Intercontinental Journal on Physical Education**, v. 4, n. 2, e2020033, 2022.

MORETTIN, PA; TOLOI, CMC. **Análise de séries temporais**. São Paulo: Blucher, 2006.

NEGREIRA-CAAMAÑO, M; JIMÉNEZ-DÍAZ, J; HIGUERA-SOBRINO, F. Disfunción sinusal florida en un paciente con miocardiopatía amiloide. **Archivos Cardiología México**, v. 93, n. 2, p. 233-236, 2023.

NESI, CN *et al.* Verossimilhança na seleção de modelos para predição espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, p. 352-358, 2013.

NETO, OMV; NETO, MM. Distúrbios do equilíbrio hidroeletrólítico. **Medicina (Ribeirão Preto)**, v. 36, n. 2/4, p. 325-337, 2003.

NOGUEIRA, DA *et al.* Modelagem GAMLSS espaçotemporal da incidência de esquistossomose na região central do Estado de Minas Gerais, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 39, n. 6, e00068822, 2023.

PAIVA, VC *et al.* Comparação entre métodos de avaliação da modulação vagal cardíaca. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 97, n. 6, p. 493-501, 2011.

PASCHOAL, MA *et al.* Heart rate variability in different age groups. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 10, n. 4, p. 413-419, 2006.

PASCHOAL, MA; PETRELLUZZI, KFS; GONÇALVES, NVO. Controle autonômico cardíaco durante a execução de atividade física dinâmica de baixa intensidade **Revista da Sociedade de Cardiologia**, v.13, n. 5 (supl A), p. 1-11, 2003.

PASCHOAL, MA; POLESSI, EA; SIMIONI, FC. Avaliação da variabilidade da frequência cardíaca em mulheres climatéricas treinadas e sedentárias. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 90, n. 2, p. 80-86, 2008.

PRADO, DML; DIAS, RG; TROMBETTA, IC. Comportamento das variáveis cardiovasculares, ventilatórias e metabólicas durante o exercício: diferenças entre crianças e adultos. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 87, p. e149-e155, 2006.

RANGEL, HAL. **Metodologia para localização de ciclo cardíaco a partir do sinal eletrocardiográfico**. Dissertação (Mestrado em Engenharias). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia (MG), 2006.

RIBEIRO, JPS; LIBERALI, R. Hidratação e exercício físico - revisão sistemática. **RBNE - Revista Brasileira De Nutrição Esportiva**, v. 4, n. 24, p. 506-514, 2010.

RODRIGUES, MF; FERANDES, AA; LUBANCO, ACL. A doença androgênica do envelhecimento masculino: o diagnóstico e a terapia de reposição da testosterona. **Múltiplos Acessos**, v. 7, n. 1, p. 122-135, 2022.

SAMPAIO, J; MEDRADO, B. Hormônios na produção de modos de subjetivação: atuando controvérsias. **Psicologia & Sociedade**, v. 31, e181507, 2019.

SILVA, FIC *et al.* A importância da hidratação hidroeletrólítica no esporte. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, v. 19, n. 3, p. 120-128, 2011.

SILVA, MP. **Detecção do complexo QRS em eletrocardiogramas com 12 derivações utilizando redes neurais convolucionais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Amazonas. Manaus (AM), 2023.

SILVEIRA, LS. **Modelos Lineares Generalizados Hierárquicos Mistos (HGLMM) ajustados via Maxima Verossimilhança Hierárquica (HIML) e HG-BLUP**: otimização da análise estatística de variáveis contínuas e categóricas. Tese (Doutorado em Estatística Aplicada e Biometria) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa (MG), 2022.

SOEIRO, VMS; VASCONCELOS, VV; CALDAS, AJM. A comorbidade tuberculose-diabetes no Brasil, 2012-2018: análise espacial exploratória e modelagem estatística. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 46, e51, 2023.

SOUSA, DF *et al.* Alterações autonômicas cardíacas em diferentes perfis táticos do Jiu Jitsu Brasileiro. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 3, p. 196-200, 2020.

SOUZA, CDF *et al.* Tendência da mortalidade por tuberculose no Brasil (1990-2015): análise por pontos de inflexão. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 45, n. 2, e20180393, 2019.

TANEDA, M; POMPEU, JE. Fisiologia e importância do órgão tendinoso de Golgi no controle motor normal. **Revista Neurociências**, v. 14, n. 1, p. 037-042, 2006.

TREVIZANI, GA; BENCHIMOL-BARBOSA, PR; NADAL, J. Efeitos da idade e da aptidão aeróbica na recuperação da frequência cardíaca em homens adultos. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 99, n. 3, p. 802-810, 2012.

VANDERLEI, FM *et al.* Variabilidade da frequência cardíaca de adolescentes saudáveis em repouso. **Journal of Human Growth and Development**, v. 22, n. 2, p. 173-178, 2012.

VANDERLEI, LCM *et al.* Noções básicas de variabilidade da frequência cardíaca e sua aplicabilidade clínica. **Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular**, v. 24, n. 2, p. 205-217, 2009.

YU, B *et al.* Estimating joinpoints in continuous time scale for multiple change-point models. **Computational Statistics and Data Analysis**, v. 51, p. 2420-2427, 2007.

ZHANG, NR; SIEGMUND, DO. A modified bayes information criterion with applications to the analysis of comparative genomic hybridization data. **Biometrics**, v. 63, p. 22–32, 2007.