

Agradecimentos

Este espaço é dedicado a todos que, de alguma forma, tornaram possível a realização desta dissertação.

Ao meu orientador e co-orientador, Professor Doutor António Moreira e Professor Doutor João Brito, pela disponibilidade expressada, por todo o seu apoio, confiança e conhecimentos transmitidos ao longo deste percurso, manifesto o meu maior agradecimento.

Ao treinador Sérgio Santos, por me permitir a realização deste projeto e o acompanhamento dos triatletas aquando do estágio em altitude.

À Escola Superior de Desporto de Rio Maior, pela oportunidade de obter o grau de mestre.

À minha família, pais e irmã, por, perante os desafios, me incentivarem a fazer mais e melhor.

À minha esposa, pelo apoio incondicional durante a elaboração deste e de todos os meus projetos.

Resumo

A aclimatização à altitude é entendida como o processo que toma lugar quando o organismo humano é exposto a condições de hipoxia, e compreende um sem número de processos fisiológicos, que servem para mitigar, até certo ponto, os efeitos da descida da pressão parcial de oxigénio. Um desses processos consiste na estimulação da eritropoiese.

O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto de um estágio de 23 dias a 2240m de altitude, nos parâmetros do eritrograma e na concentração de eritropoietina ([EPO]), em 7 triatletas de elite.

A amostra, constituída por 5 atletas masculinos e 2 atletas femininos, foi submetida a dois momentos de avaliação – no dia anterior ao início do estágio e no dia seguinte ao retorno ao nível do mar – para determinar o número de glóbulos vermelhos (RBC), a concentração de hemoglobina ([Hb]), o hematócrito (Htc), o volume globular médio (VGM), a hemoglobina globular média (HGM), a concentração de hemoglobina globular média (CHGM), o índice de anisocitose (RDW) e a [EPO].

A [EPO] ($9,8 \pm 3,5$ para $7,4 \pm 2,8$ mUI/ml, $p=0,178$) e a CHGM ($33,2 \pm 0,5$ para $32,4 \pm 0,6$ g/dl, $p=0,005$) diminuíram após o estágio, sendo que esta diferença apenas foi significativa para a CHGM. Os aumentos significativos ocorreram para o RBC ($4,7 \pm 0,3$ para $4,9 \pm 0,2 \times 10^6/\text{mm}^3$, $p=0,019$); a [Hb] ($14,5 \pm 0,8$ para $15,2 \pm 0,3$ g/dl, $p=0,022$); o Htc ($43,6 \pm 2,0$ para $46,9 \pm 1,2\%$, $p=0,003$); o VGM ($93,0 \pm 3,8$ para $95,8 \pm 3,8$ fl, $p=0,000$) e o RDW ($13,1 \pm 0,3$ para $13,4 \pm 0,2\%$, $p=0,034$).

Conclui-se que um estágio de 3 semanas a uma altitude de 2240m provoca alterações no eritrograma em 7 triatletas de elite, embora não seja possível estabelecer com certeza se essas alterações resultaram do estímulo hipóxico por si só ou de um incremento na condição física.

Palavras – chave: altitude; eritropoietina; eritrograma; exercício; triatlo

Abstract

Acclimatization to altitude is understood as a mechanism that takes place when the human body is subjected to hypoxia, and includes a variety of physiological processes designed to mitigate, to a certain point, the effects of the oxygen partial pressure descent.

The purpose of this study was to evaluate the impact of 23 days of traditional altitude training at 2240m on the erythrogram parameters and on the erythropoietin concentration ([EPO]), in 7 elite triathletes.

The sample, constituted by 5 male and 2 female individuals, was submitted to two moments of evaluation – one day before ascent to 2240m and one day after the return to sea level – in order to evaluate the number of red blood cells (RBC), the concentration of hemoglobin ([Hb]), the hematocrit (Htc), the mean corpuscular volume (MCV), the mean corpuscular hemoglobin (MCH), the mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC), the red cell distribution width (RDW) and the [EPO].

[EPO] ($9,8 \pm 3,5$ to $7,4 \pm 2,8$ mUI/ml, $p=0,178$) and CHGM ($33,2 \pm 0,5$ to $32,4 \pm 0,6$ g/dl, $p=0,005$) decreased after altitude training, the differences being significant only to CHGM. Significant increases occurred in RBC ($4,7 \pm 0,3$ to $4,9 \pm 0,2 \times 10^6/\text{mm}^3$, $p=0,019$); [Hb] ($14,5 \pm 0,8$ to $15,2 \pm 0,3$ g/dl, $p=0,022$); Htc ($43,6 \pm 2,0$ to $46,9 \pm 1,2\%$, $p=0,003$); VGM ($93,0 \pm 3,8$ to $95,8 \pm 3,8$ fl, $p=0,000$) and RDW ($13,1 \pm 0,3$ to $13,4 \pm 0,2\%$, $p=0,034$).

In conclusion, a 3 week training program at 2240m modifies erythropoietic activity in 7 elite triathletes, although it is not possible to establish with certainty if these alterations are a result of the hypoxic stimulus by itself, or a consequence of an improvement in physical conditioning.

Keywords: altitude; erythropoietin; erythrogram; exercise; triathlon

Índice

1. Glossário	6
2. Introdução	7
3. Metodologia	14
4. Resultados	19
5. Discussão	24
6. Conclusão	27
7. Referências bibliográficas	29
8. Apêndice	32

1. Glossário

CFU-E: *Colony forming unit erythrocytes*

CHGM: Concentração de Hemoglobina Globular Média

CK: Creatina Quinase

EPO: Eritropoietina

Fe²⁺: Ião Ferroso

Hb: Hemoglobina

Htc: Hematócrito

LDH: Lactato Desidrogenase

LHTH: *Living-high training-high*

LHTL: *Living high-training-low*

MO: Medula Óssea

O₂: Oxigénio

PO₂: Pressão Parcial de Oxigénio

RBC: Volume de Glóbulos Vermelhos

RDW: Índice de Anisocitose

sTfR: Recetor de Transferrina Solúvel

VGM: Volume Globular Médio

VO₂max: Consumo Máximo de Oxigénio

2. Introdução

Este estudo está inserido na Unidade Curricular de Dissertação do 2º ano do Mestrado em Desporto da Escola Superior de Desporto de Rio Maior. O presente documento servirá como demonstração, e também como uma linha orientadora ao longo de todo o restante processo de investigação.

É de interesse a abordagem deste tema no contexto do treino em altitude e as suas repercussões ao nível fisiológico, pois pretende-se contribuir de alguma forma para o enriquecimento do estado da arte no que diz respeito a esta temática.

Considerou-se o tema pertinente, pois o treino em altitude constitui uma temática pouco explorada no geral, e particularmente na modalidade de triatlo, sendo, além disso, bastante viável. Viável no sentido de que os dados serão obtidos (como será melhor esclarecido ao longo deste projeto) já na sua fase final (resultados de análises sanguíneas).

O problema de investigação abrange a questão: “Será que ocorrem alterações fisiológicas a um grupo de atletas de triatlo de elite, quando exposto a uma altitude de 2240 metros, durante um período de 23 dias?”.

A ideia de estudar os efeitos desta variável não é nova, sendo que o interesse pela altitude surgiu nos Jogos Olímpicos de Verão, em 1986, na Cidade do México, localizada a 2300 metros acima do nível médio do mar. Nesse ano, categorias como o *sprint* e o salto quebraram recordes, contrariamente aos corredores de longa distância que apresentaram maiores dificuldades. Para além disso, atletas de países como o Quênia e a Etiópia foram detentores de uma percentagem relativamente alta de medalhas, em corrida de média e longas distâncias. Como resultado deste evento, começou a surgir um enorme interesse por parte de treinadores, atletas e cientistas na vertente da altitude. A existência ou não de uma relação com a performance atlética é um assunto que ainda hoje gera imensa controvérsia. A performance é dos parâmetros mais importantes para a avaliação da eficácia de um programa de treino. Ao nível olímpico, a diferença de performance entre medalhistas costuma ser à volta dos 0,5%. Os atletas acreditam que o treino em altitude possa fornecer estes críticos 0,5%, a diferença entre uma medalha olímpica ou não (Wilber, 2004).

O intuito deste estudo prende-se com a avaliação de um conjunto de parâmetros fisiológicos em sete triatletas de elite, após um estímulo hipóxico prolongado. Como tal, estes atletas estarão incluídos num estágio, que terá lugar na Cidade do México, a 2240 metros de altitude. Serão analisados parâmetros como o ferro sérico, o número de glóbulos vermelhos, entre outros, em duas colheitas sanguíneas: uma imediatamente antes do início do estágio e outra imediatamente após o mesmo.

Com isto, pretende-se obter respostas a questões como:

- A altitude à qual os atletas vão ser sujeitos é suficiente para que ocorram alterações fisiológicas?
- O tempo de exposição é suficiente para que se verifiquem modificações dos parâmetros abordados?
- A análise da colheita pós altitude demonstrou que os efeitos, se ocorreram, ainda estão presentes?
- Qual ou quais os parâmetros em que se verificou a maior alteração?

2.1. Enquadramento teórico

Que efeitos estão subjacentes à altitude, que possam contribuir para a ocorrência de modificações fisiológicas?

Conjetura-se que ao ocorrer uma melhoria da performance após estágios em altitude, esta advenha de alterações fisiológicas decorrentes da exposição às condições particulares da altitude (Rusko et al., 2004; Friedmann et al., 2005; Magalhães et al., 2002). Existem inúmeros estudos relativos à temática destas alterações, nos quais se verificou a análise de temas tão variados como as alterações ventilatórias, cardiovasculares, hematológicas, morfológicas e metabólicas. Certos defensores destas metodologias creem que, particularmente para os atletas cujo rendimento depende da otimização da capacidade de resistência aeróbia, ocorra uma melhoria do seu desempenho ao nível do mar após a estadia em altitude, sendo o estímulo hipóxico o mecanismo subjacente (Bailey & Davies, 1997).

Segundo Bailey e Davies (1997), a permanência em altitudes compreendidas entre 1829m e 3048m resultou num aumento da concentração de hemoglobina ([Hb]). Muito associado à análise das alterações hematológicas em altitude, encontra-se o estudo da eritropoietina (EPO). É colocada a hipótese desta hormona ser responsável pelo estímulo da eritropoiese e, conseqüentemente, pelo aumento do número de glóbulos vermelhos e da [Hb] (Greer et al., 2003).

Existe um mecanismo de controlo no nosso organismo que mantém a massa de glóbulos vermelhos dentro dos valores normais, e que mede a resposta a uma série de situações fisiológicas e não fisiológicas. Em linhas muito gerais, este controlo atua da seguinte forma: alterações na [Hb] no sangue, na saturação em oxigénio da hemoglobina, na afinidade desta molécula pelo oxigénio, ou até mesmo alterações no fluxo sanguíneo conduzem à

modificação da tensão de oxigénio nos tecidos do rim. Em resposta a esta hipoxia, o órgão secreta uma hormona, a eritropoietina. Por sua vez, esta hormona induz a diferenciação das células eritroides progenitoras na medula óssea, ocorrendo desta forma um aumento no número de glóbulos vermelhos. O aumento da massa de glóbulos vermelhos resulta no restabelecimento dos níveis teciduais de oxigénio a valores normais (Chang, 2005).

A hipoxia é definida como um fenómeno em que ocorre uma deficiência do aporte de oxigénio aos tecidos. Associado ao aumento da altitude está o decréscimo da pressão barométrica, ou seja, a diminuição da densidade do ar da atmosfera. Tal deve-se ao facto de que quanto maior a altitude, menor a coluna de ar acima desse nível. Uma vez que a pressão total da atmosfera corresponde ao somatório das pressões parciais exercidas pelos gases nela presentes, este decréscimo resulta também na diminuição da pressão parcial de oxigénio (PO_2) (West et al, 2007).

Sendo a difusão de oxigénio dos alvéolos pulmonares para os tecidos condicionada por gradientes de pressão nos diferentes níveis a que ocorrem as trocas gasosas, o decréscimo da PO_2 afeta negativamente a taxa de difusão do oxigénio dos alvéolos para os capilares pulmonares, diminuindo a percentagem de saturação da hemoglobina e, conseqüentemente, o conteúdo arterial e o transporte de oxigénio para os tecidos (Bailey & Davies, 1997).

Quando o organismo humano é exposto a condições de hipoxia, têm início inúmeros processos fisiológicos que servem para mitigar os efeitos da descida da PO_2 . Este conjunto de processos é denominado como aclimatização (West et al, 2007). São as alterações provocadas por esta aclimatização, que se podem traduzir num aumento da performance, que recebem tanta atenção por parte do treino de alto rendimento.

Um indivíduo exposto a condições de altitude elevada apresentará uma saturação de oxigénio e uma capacidade de transporte deste gás reduzidas. Entre os diversos mecanismos que operam no sentido de compensar este desequilíbrio, como por exemplo o aumento da ventilação, aqueles que têm maior importância ao nível da temática do treino em altitude estão relacionados com eritropoiese aumentada (Birch et al, 2005). Tal já teria sido verificado por investigadores em 1969, que determinaram que, após o transporte de uma população residente ao nível do mar para uma cidade a 4530 metros de altitude, ocorreu um aumento na produção sanguínea em cerca de duas vezes o normal. Para isso, foram necessários apenas 7 dias de estadia em altitude (Faura et al., 1969).

Os rins possuem células sensíveis às variações de pressão parcial de oxigénio (PO_2), tal como baroreceptores e quimiorreceptores centrais e periféricos, que enviam informação aferente de retorno ao núcleo do trato solitário (bulbo raquidiano). Uma vez em altitude, como já foi referido, verifica-se o declínio deste valor. Como resultado, os rins respondem

com o aumento da produção da hormona EPO. Esta hormona tem a capacidade de se ligar aos receptores das células-alvo na medula óssea (MO) - *Colony forming unit erythrocytes* (CFU-E), e induzir a sua diferenciação. Ou seja, a partir do estímulo para a diferenciação destas células precursoras, a hormona induzirá um aumento na eritropoiese, o que significa que mais glóbulos vermelhos serão libertados na corrente sanguínea. O aumento do número de glóbulos vermelhos e da concentração de hemoglobina aumenta a capacidade de transporte de oxigénio de tal forma que, até cerca de 5300m de altitude, indivíduos totalmente aclimatizados terão o mesmo conteúdo de oxigénio no sangue em relação a indivíduos que se encontrem ao nível do mar (West, 2007).

Para que o aumento da eritropoiese seja bem sucedido, é necessário que existam reservas de ferro suficientes para o efeito. De facto, Cook et al. (2005) verificaram que as reservas de ferro em mulheres bolivianas habitantes em altitudes superiores a 3000 metros estavam reduzidas em cerca de 1/3, quando comparadas com valores de indivíduos habitantes em altitudes menores. É por este motivo que muitas vezes é administrada suplementação de ferro aos atletas que implementam os estágios em altitude.

A hemoglobina é a molécula responsável pelo transporte de oxigénio, entre outros gases. Cada glóbulo vermelho contém inúmeras moléculas de hemoglobina e cada molécula de hemoglobina é constituída por um tetrâmero de cadeias polipeptídicas – as cadeias de globina. Cada cadeia tem na sua constituição um grupo heme, formado por uma molécula de porfirina e um ião de ferro. É este átomo de ferro (na forma Fe^{2+}) que vai servir de local de ligação do oxigénio à molécula da hemoglobina. Isto é, cada molécula de hemoglobina pode transportar até quatro moléculas de oxigénio. Concluindo, o ferro é essencial à efectivação da eritropoiese uma vez que a ligação do oxigénio à molécula da hemoglobina só ocorre na presença deste ião.

De acordo com Wilber (2004), modalidades desportivas que façam uso da capacidade aeróbia, como o ciclismo, estão altamente dependentes da utilização eficaz do oxigénio para produção de energia. Os aspetos melhor conhecidos da aclimatização à altitude são o aumento no volume de glóbulos vermelhos e o aumento da concentração de hemoglobina (West, 2007). A aclimatização é então o conjunto de mecanismos levados a cabo pelo nosso organismo em altitudes elevadas, para aumentar na quantidade de oxigénio transportado por unidade de volume de sangue (Schommer, 2011). O facto de um indivíduo estar ou não aclimatizado é determinante da resposta fisiológica ao exercício (Mazzeo, 2008)

Os estágios em altitude têm se tornado populares, graças às alterações fisiológicas que se poderão fazer sentir nos atletas, quando retornam ao nível médio do mar, esperando-se que tais modificações resultem num aumento da performance (Rusko et al., 2004).

Desenvolveram-se várias metodologias ao longo dos anos para a realização dos estágios em altitude. A primeira a ser explorada, e portanto a mais tradicional, tem a designação anglo-saxónica “living-high training-high” (LHTH). Esta modalidade clássica consiste na permanência constante em altitude (2000 – 3000m) durante um determinado período de tempo, tanto para viver como para treinar. No entanto, existem outras modalidades de treino, como aquela em que os atletas vivem (ou pelo menos dormem) em altitude, e treinam ao nível do mar ou em altitudes menos elevadas (metodologia contemporânea denominada de “living high training low “ (LHTL); e ainda a chamada metodologia da hipóxia intermitente – os atletas são sujeitos a condições de hipóxia quando em repouso, e por um período de tempo curto.

Num estudo desenvolvido por Heinicke et al. (2004), utilizando a abordagem LHTH, atletas de elite participaram num estágio de 3 semanas a 2500m. Verificou-se um aumento na massa total de hemoglobina e no volume dos glóbulos vermelhos. No que diz respeito à EPO, aumentou significativamente nos atletas do sexo masculino até ao 4º dia em altitude, mas retornou aos valores iniciais 16 dias após retorno ao nível do mar (Nadarajan et al., 2008).

Na metodologia LHTH, os benefícios incluem uma melhor aclimatização à altitude, pela presença da hipoxia como estímulo adicional ao treino, enquanto que na abordagem LHTL os atletas acabam por beneficiar dos efeitos fisiológicos da exposição à altitude, ao mesmo tempo que a intensidade de treino pode ser mais elevada (Friedmann-Bette, 2008). A metodologia do LHTH decorre por norma a altitudes moderadas. A classificação das mesmas é dada por (Schommer & Bartsch, 2011):

- Próximo do nível do mar: 0-500 metros;
- Baixa altitude:> 500-2000 metros;
- Altitude moderada:> 2000-3000 metros;
- Altitude elevada:> 3000-5500 metros;
- Altitude extrema:> 5500 metros.

Vários têm sido os estudos que procuram avaliar os efeitos da altitude e as suas repercussões ao nível do mar na performance do atleta. Um estudo que teve por base a avaliação de parâmetros hematológicos em atletas de elite de biatlo durante um estágio de 3 semanas em altitude – 2050 metros –, demonstrou que o volume sanguíneo aumentou, embora o volume plasmático não se tenha alterado. Para além disso, a EPO aumentou, bem como o recetor de transferrina solúvel (sTfR) (Heinicke et al., 2004). Neste caso, a EPO representa um estímulo da atividade eritropoiética, assim como o sTfR, uma vez que a

transferrina é a proteína que transporta o ferro, elemento que será mais requisitado aquando o aumento da eritropoiese.

Num estudo desenvolvido por Friedmann-Bette (2008), observou-se um aumento significativo no VO_{2max} após o retorno de um estágio em altitude segundo o modelo LHTH, no entanto, a sua amostra não era constituída por atletas de elite.

O VO_{2max} é um parâmetro muito importante no que diz respeito à performance de um atleta. Consiste na chamada potência máxima aeróbia, ou seja, taxa de captação, fixação, transporte e utilização de O_2 pelo organismo durante um exercício de elevada intensidade e prolongado no tempo, em que sejam solicitadas grandes massas musculares. Como tal, é o melhor indicador da capacidade do sistema cardiorespiratório, uma vez que está diretamente relacionado com débito cardíaco, o conteúdo arterial de O_2 e com a capacidade extrativa de O_2 a nível muscular (Santos, 2006).

Contrariamente ao que foi mencionado anteriormente, existem também estudos controlados que não demonstram aumento da performance nos atletas após a implementação da metodologia LHTH. Tal foi o caso do estudo em que 12 corredores de média distância altamente treinados foram submetidos a um programa de treino a 2300 metros, durante 3 semanas. O VO_{2max} , tal como o tempo de corrida para cerca de 4Km, mantiveram-se inalterados após o retorno ao nível do mar (Friedmann-Bette, 2008).

Uma possível explicação para a ausência de efeitos positivos em altitude prende-se com o facto de que, até em situações de hipoxia moderada, o exercício pode estar substancialmente comprometido e, como tal, o ritmo de treino diminui, conduzindo a um enfraquecimento gradual de alguns determinantes específicos da performance do atleta (Rusko, 2004).

Embora tal fosse desejável, a maioria dos estudos realizados no âmbito desta temática não foram estudos controlados. Entre estes, temos exemplo dos estudos realizados por Friedmann et al. (2005) e Svedenhag et al. (1997). No estudo de Friedmann et al. (2005), verificou-se um aumento de 2-3% nos valores da corrida, em relação a uma amostra de 16 nadadores de elite, submetidos a um estágio a uma altitude de 2100-2300 metros durante 3 semanas. Por outro lado, no estudo de Svedenhag et al. (1997), foram estudadas as características hematológicas e circulatórias de 7 atletas de esqui nórdico após um mês de estágio a uma altitude de 1900 metros, não se verificando alterações dos valores de VO_{2max} (Friedmann-Bette, 2008).

Os resultados dos diferentes estudos indiciam falta de consenso sobre o tema dos efeitos fisiológicos da altitude em relação a atletas, quer sejam ou não de elite. Existem resultados contraditórios e as justificações não são totalmente conhecidas. Para tal, contribuem

algumas “imperfeições” da literatura no que diz respeito aos estudos efetuados acerca desta temática:

- Amostras reduzidas;
- Estudos não aleatórios;
- Designs de estudo “não cegos”, nem “duplamente cegos”;
- Populações heterogêneas;
- Estudo de várias metodologias de hipóxia, assim como de várias modalidades de desporto.

A consequência destes fatores prende-se com o baixo nível de evidência decorrente da relação da eficácia dos métodos de hipóxia com o aumento da performance em altitudes elevadas, ou baixas. Devido à falta de ensaios controlados e aleatórios, o consenso de opiniões de peritos acaba por se destacar, em vez da informação estabelecida através de evidência científica (Paula & Niebauer, 2010).

3. Metodologia

Pela literatura abordada, notou-se uma escassez de análise de situações que envolvessem atletas de elite, pelo que foi estudada uma equipa de triatlo de alto rendimento. O triatlo é um desporto que envolve três eventos desportivos: a natação, o ciclismo e o atletismo. É uma modalidade desportiva múltipla, que exige um enorme emprego da capacidade aeróbia do atleta.

Os atletas em estudo são submetidos regularmente a análises como forma de avaliação dos resultados dos estágios em altitude. Pretende-se analisar esses mesmos dados, no sentido de reflectir acerca das alterações fisiológicas ocorrentes em altitude.

3.1. Amostra

A amostra faz parte da população que compreende todos os atletas de elite de triatlo. Optou-se por não definir como população outras modalidades que requerem esforço aeróbio, pois ainda não existem estudos realizados que nos permitam afirmar que as alterações decorrentes da altitude, se existentes, são iguais para qualquer modalidade. Por outro lado, restringiu-se a população apenas aos atletas de elite porque estes apresentam uma classe à parte no mundo do desporto: mais preparados, com uma maior resistência e cuja evolução não ocorre de forma igual.

Em relação ao tipo de amostragem, classifica-se como não aleatório. Foi definido o tema, e posteriormente procurados elementos que possuíssem características representativas da população, sendo, por isso, uma amostragem do tipo intencional. Como tal, a amostra servirá para avaliação e reflexão dentro do grupo, não permitindo a extrapolação dos resultados para a população total.

O presente estudo terá por base uma amostra de sete triatletas de elite saudáveis, que estiveram incluídos num estágio no CNAR (Centro Nacional de Desarrollo de Talentos Deportivos y Alto Rendimiento), centro especializado para a prática de desporto de alto rendimento, situado na Cidade do México, a 2240 metros de altitude, durante 23 dias.

Estudos como o de Paula e Niebauer (2010) e Magalhães et al. (2002) apoiam a hipótese de que altitudes de aproximadamente 2100-2500m podem ser consideradas como o limiar mínimo para que seja estimulado o aumento da eritropoiese. Os participantes do estudo, 5 indivíduos do sexo masculino e 2 do sexo feminino, tem idade média de $26,6 \pm 4,7$ anos, altura média de $176,7 \pm 9,8$ cm e massa corporal média de $66,6 \pm 8,1$ kg. A suplementação durante o estágio consistiu em doses diárias de glutamina (3-6g), vitamina C (1g) e 1 comprimido constituído por 100mg de ferro e 0,350mg de ácido fólico.

Embora Pottgiesser et al. (2009) afirmem que, para uma boa aclimatização a uma altitude de cerca de 2500m, sejam necessários em média 15 dias, devido a questões de logística e aproveitamento do tempo disponível, a aclimatização deste grupo consistiu numa primeira semana de treino com uma menor intensidade. Dessa forma, os atletas podem adaptar-se aos efeitos da altitude sem que disso resulte um processo de sobre treino (*overtraining*). Ao longo da estadia, a altitude variou entre os 1800m e os 3300m.

Não foi possível obter um grupo de controlo com as mesmas características, ou seja, uma outra amostra de atletas de elite, que treinem o mesmo número de dias, em condições relativamente similares, tendo por única diferença a altitude – estes atletas treinariam ao nível do mar. Segundo Bailey et al (1997), dos estudos revistos de treino em condições de hipoxia apenas 30% incorporaram um grupo de controlo com treino ao nível do mar. No entanto, sem este grupo de controlo, é difícil afirmar diretamente que as alterações fisiológicas ocorreram devido aos efeitos da hipóxia propriamente dita, ou ao aumento da condição física (devida apenas ao treino).

Assim, a alternativa encontrada foi a utilização de um único grupo de atletas, sendo que a comparação dos resultados será feita tendo por base análises sanguíneas pré e pós estágio. Não é possível a colheita de sangue e consequente análise durante a estadia dos atletas no estágio, como foi feito noutros estudos, como o de Heinicke et al (2005), no qual 10 atletas de elite da modalidade de biatlo estiveram 3 semanas a treinar a 2050m de altitude. Parâmetros como o hematócrito e a concentração de hemoglobina foram medidos nos dias 1, 2, 4, 10 e 20 em altitude, bem como no 16º dia após retorno ao nível do mar.

A maioria da literatura consultada diz respeito a estudos científicos que fazem uma correlação importante com a performance do atleta, no sentido de tentar perceber se houve ou não melhorias (Stray–Gundersen et al., 2001). No presente projeto, até ao momento, existe apenas foi possível a recolha de dados de intensidade de treino relativos à percepção subjectiva de esforço (escala CR-0 a 20 categorias). Relativamente ao programa desportivo implementado, a intensidade do treino foi variando, com uma adaptação gradual nos primeiros e últimos dias de estágio, e com treinos alternados entre maior e menor carga durante os restantes dias.

3.2. Procedimentos de avaliação

Cada atleta preencheu o formulário de consentimento informado, no qual o mesmo autoriza a utilização dos seus dados, confidencialmente, para efeito de investigação, mas não sem antes ter conhecimento dos objetivos principais do estudo e ter sido esclarecido quanto a

qualquer dúvida que permaneça após a leitura do documento. O consentimento informado encontra-se em anexo.

Relativamente às análises, os parâmetros serão os seguintes:

- Ferro sérico
- Ferritina
- Transaminases
- CK
- LDH
- Hemograma com plaquetas
- Urina tipo II

Pretende-se analisar apenas os parâmetros respeitantes à série vermelha do hemograma e ao estudo do ferro, uma vez que são os mais abordados em estudos realizados, e são também os mais relacionados com o possível aumento da performance dos atletas, objetivo final de qualquer treinador e/ou atleta,

Na tabela seguinte, encontra-se um esboço do cronograma de recolhas de dados.

Recolha e tratamento de dados	Meses			
	fev-12	mar-12	abr-12	jul-12
Realização da 1ª colheita	dia 14	-	-	-
Estágio em altitude	15 fev – 8 mar		-	-
Realização da 2ª colheita	-	dia 9	-	-
Análise e tratamento dos dados	-	-	1 abr – 31 jul	

3.3. Recolha de dados hematológicos

Como forma de avaliar as possíveis alterações fisiológicas decorrentes da estadia em altitude, foram realizadas duas colheitas de sangue venoso, antes e depois do estágio. Todos os parâmetros foram determinados logo após a colheita, com a exceção da EPO pós-altitude. Neste caso, após a colheita, as amostras foram centrifugadas a 2400rpm durante 15min, para se proceder à separação do soro, e este último componente foi armazenado a -18°C durante aproximadamente 3 meses. O seu doseamento foi efetuado a partir de um ensaio enzimático imunométrico quimioluminescente, no aparelho *Immulite 2000*. O método apresenta um coeficiente de variação (CV) intra-ensaio de 4,97mIU/ml e um CV inter-ensaio de 8,13mIU/ml. Estes coeficientes foram calculados tendo em conta a média dos CV para

três dos calibradores, cujo intervalo de valores se encontra entre 3,85mIU/ml e 28,4mUI/ml. A sensibilidade funcional é 1,5 mIU/mL.

No que diz respeito ao eritrograma, o número de glóbulos vermelhos, a [Hb], o hematócrito (Htc) e o índice de anisocitose (RDW) foram determinados por citometria de fluxo. Os índices hematimétricos – volume globular médio (VGM), hemoglobina globular média (HGM) e concentração de hemoglobina globular média (CHGM) foram calculados automaticamente, também a partir do aparelho ADVIA 2120.

O presente estudo classifica-se como um estudo descritivo e quantitativo. Os métodos quantitativos são caracterizados pelo emprego da quantificação, tanto na modalidade de colheita de informações, quanto no tratamento destas por meio de técnicas estatísticas. São aplicados nos estudos descritivos para determinar e classificar a relação entre variáveis e investigar a relação da causalidade entre fenómenos. Preveem ainda a mensuração de variáveis previamente estabelecidas, verificando e explicando a sua influência sobre outras variáveis, mediante a análise da frequência de incidências e de correlações estatísticas. Um estudo descritivo visa descrever as propriedades, as características e os perfis relevantes de pessoas, grupos, comunidades ou qualquer outro fenómeno que se submeta a análise. Além disso, seleciona uma série de questões, recolhe as informações e descreve o que pesquisa. No caso específico desta investigação, será possível comparar apenas os resultados obtidos no que diz respeito aos valores dos analitos mensurados, antes e após a exposição à altitude. Tal significa que, mesmo que alguns parâmetros, nomeadamente a eritropoietina ou a hemoglobina, apresentem um aumento significativo, não se poderá inferir acerca do aumento na performance dos triatletas. Sendo assim, dados relativos à performance dos atletas seriam um ponto muito interessante a acrescentar, de forma a obter conclusões mais elucidativas e completas sobre esta temática.

3.4. Análise estatística

Quando a amostra é constituída por um reduzido número de elementos (<30) – 7 atletas –, é necessário provar, em primeiro lugar, que a população segue uma distribuição normal para depois se poder utilizar testes paramétricos. Os testes paramétricos, ou t testes, principalmente se a amostra tiver uma dimensão <30, exigem que a sua distribuição seja normal, ou gaussiana. Assim, pressupõem a normalidade em amostras de dimensão igual ou inferior a 30, enquanto que para amostras superiores a 30 a distribuição aproxima-se da distribuição normal, e também se aplicam os t testes.

Em primeiro lugar, para comprovar a normalidade da distribuição dos parâmetros, utilizou-se o teste de Shapiro-Wilks. Para os parâmetros nos quais se provou a normalidade da sua

distribuição, foi possível aplicar o teste *t* emparelhado, uma vez que o estudo consiste na comparação, em relação a uma mesma amostra, dos valores obtidos antes e após a exposição à altitude. Para aqueles em que não foi possível comprovar a normalidade da distribuição, utilizou-se como alternativa o teste de Wilcoxon.

Recorreu-se ao software para a análise estatística *IBM SPSS Statistics 19 for Windows*. Foi estipulado um intervalo de confiança de 95%, ou seja, as hipóteses nulas foram rejeitadas, caso o resultado dos testes de hipóteses correspondesse a uma probabilidade associada de ocorrência inferior a 0,05 ($p < 0,05$).

4. Resultados

Decidiu-se operar apenas com os dados relativos à amostra total, ao invés de separá-los por sexo, modelo também adotado por outros autores (Paula & Niebauer, 2010). Para além disso, a amostra feminina é muito pequena, o que poderá resultar em testes estatísticos pouco representativos.

Foram avaliadas as frequências para cada atleta, relativas aos parâmetros medidos antes e depois de um estágio em altitude (gráficos 1 - 8).

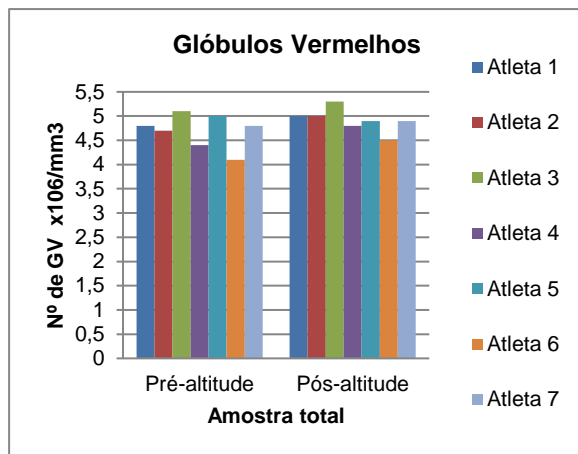


Gráfico 1. Frequências correspondentes nº de GV

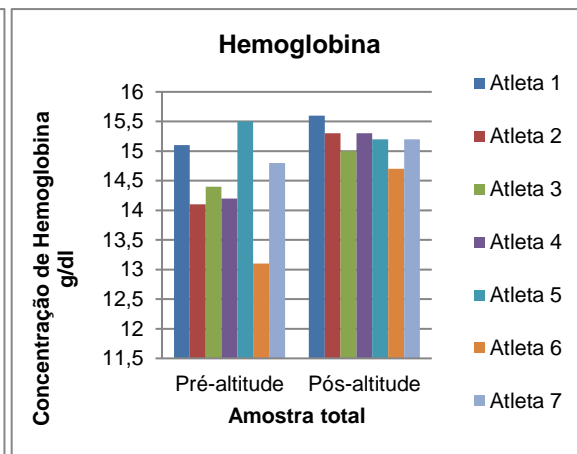


Gráfico 2. Frequências correspondentes à Hb

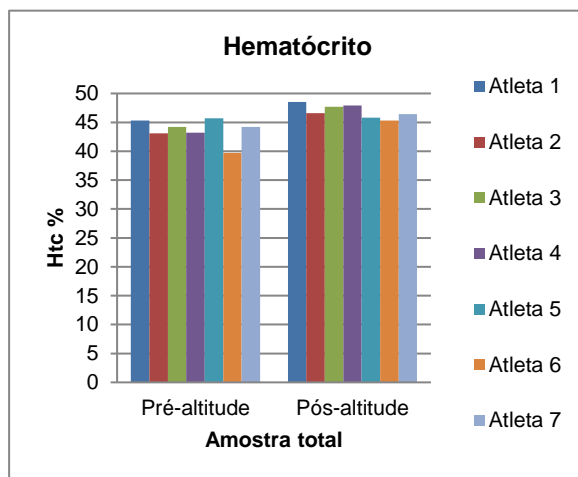


Gráfico 3. Frequências correspondentes ao Htc

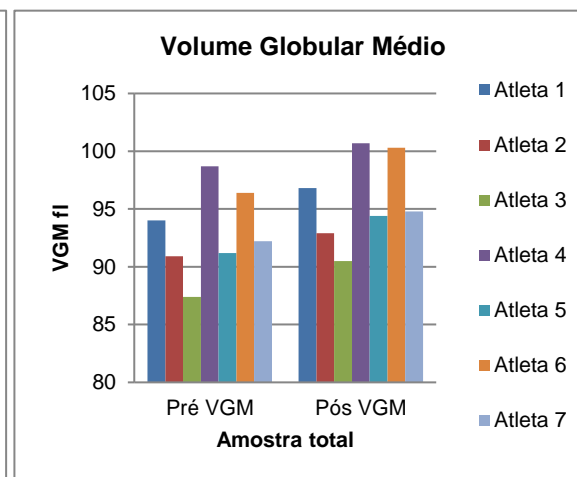


Gráfico 4. Frequências correspondentes ao VGM

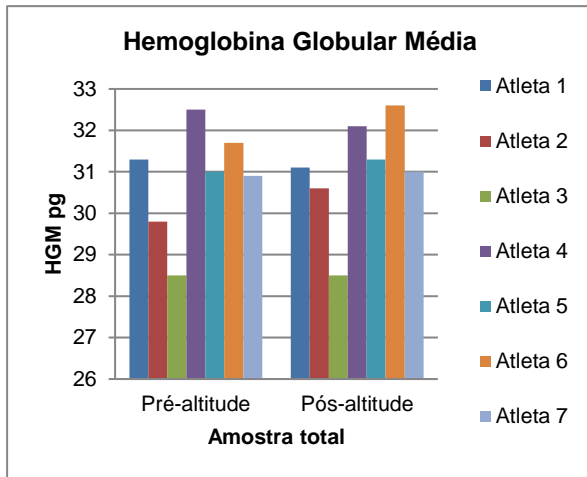


Gráfico 5. Frequências correspondentes à HGM

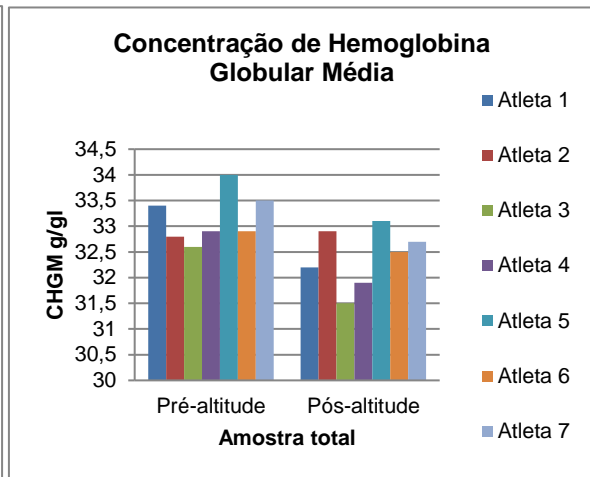


Gráfico 6. Frequências correspondentes à CHGM

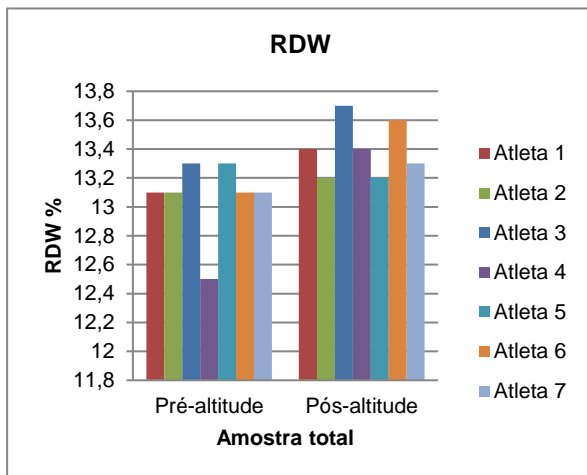


Gráfico 7. Frequências correspondentes ao RDW

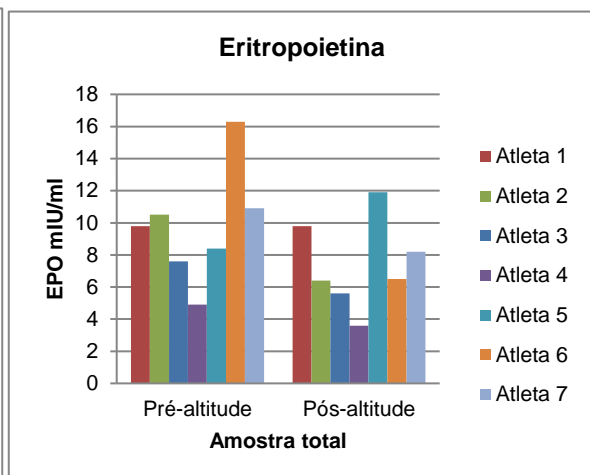


Gráfico 8. Frequências correspondentes à EPO

À análise descritiva da amostra foram acrescentadas as médias dos resultados dos 7 atletas, discriminadas em relação às colheitas pré e pós-altitude (ver Tabela 1):

Tabela 1. Análise descritiva para a amostra total

Variáveis	Amplitude	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão
	Estatística	Estatística	Estatística	Estatística	Estatística
PréRBC	1,0	4,1	5,1	4,700	.3464
PósRBC	.8	4.5	5.3	4.914	.2410
Pré[Hb]	2.4	13.1	15.5	14.457	.7807
Pós[Hb]	.9	14.7	15.6	15.186	.2795

PréHtc	6.0	39.7	45.7	43.629	1.9847
PósHtc	3.2	45.3	48.5	46.886	1.1768
PréVGM	11.3	87.4	98.7	92.971	3.7571
PósVGM	10.2	90.5	100.7	95.771	3.7575
PréHGM	4.0	28.5	32.5	30.814	1.3095
PósHGM	4.1	28.5	32.6	31.029	1.3086
PréCHGM	1.4	32.6	34.0	33.157	.4928
PósCHGM	1.6	31.5	33.1	32.400	.5686
PréRDW	.8	12.5	13.3	13.071	.2690
PósRDW	.5	13.2	13.7	13.400	.1915
PréEPO	11.4	4.9	16.3	9.771	3.5297
PósEPO	8.3	3.6	11.9	7.419	2.7830

É importante salientar que os parâmetros com uma maior variabilidade dentro da amostra são o VGM e a EPO.

Os parâmetros provaram ter todos uma distribuição normal, à exceção do pré-RDW. Assim, foi aplicado o teste t emparelhado para as amostras com uma distribuição normal, e o teste de Wilcoxon para o RDW, com o objetivo de obter as diferenças entre as médias pré e pós altitude, relativas a cada parâmetro (gráficos 9-16).

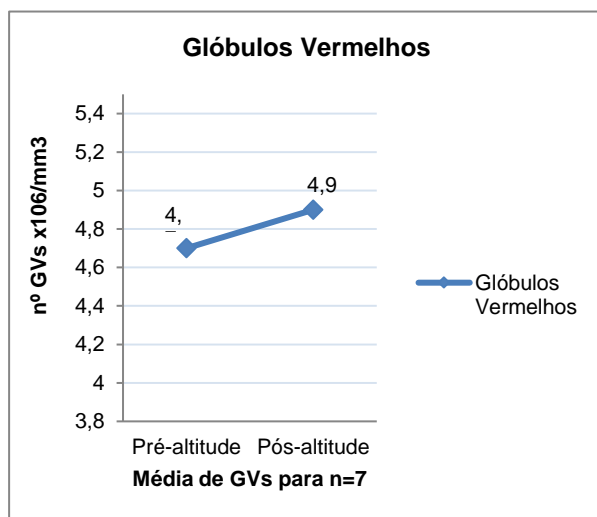


Gráfico 9. Diferença entre as médias pré e pós dos GVs

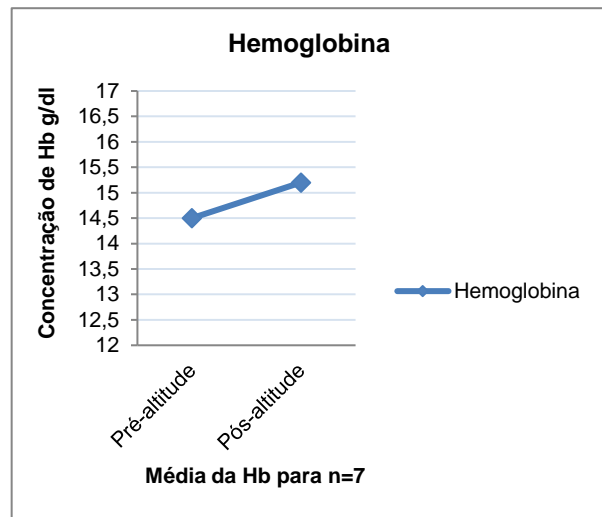


Gráfico 10. Diferença entre as médias pré e pós da Hb

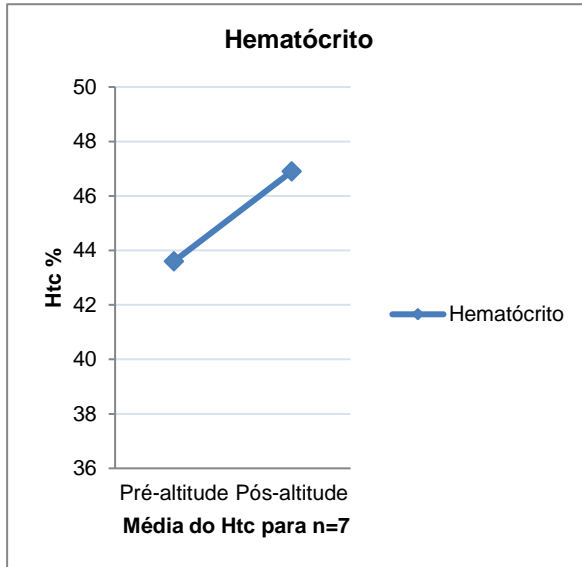


Gráfico 11. Diferença entre as médias pré e pós do Htc

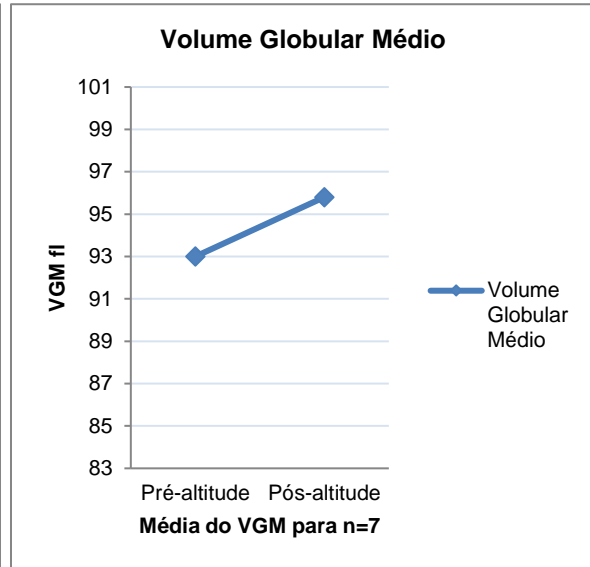


Gráfico 12. Diferença entre as médias pré e pós do VGM

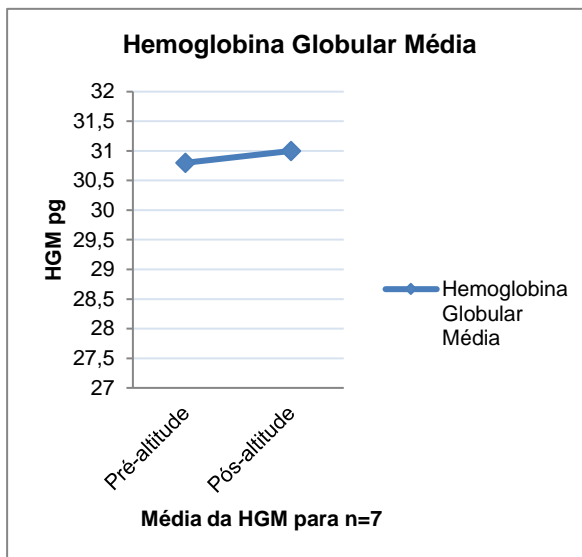


Gráfico 13. Diferença entre as médias pré e pós da HGM

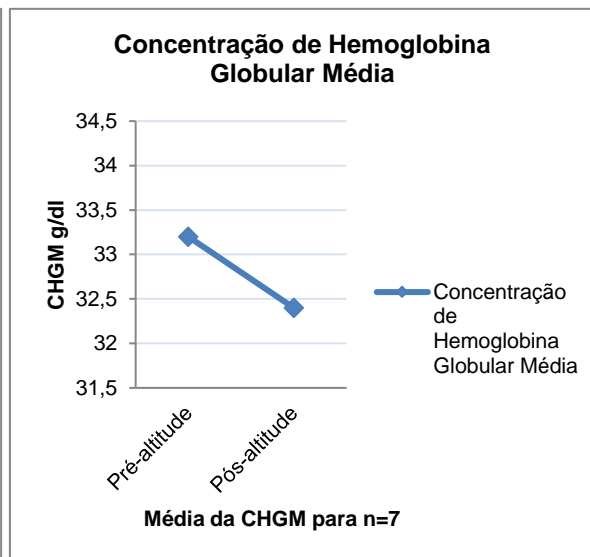


Gráfico 14. Diferença entre as médias pré e pós da CHGM

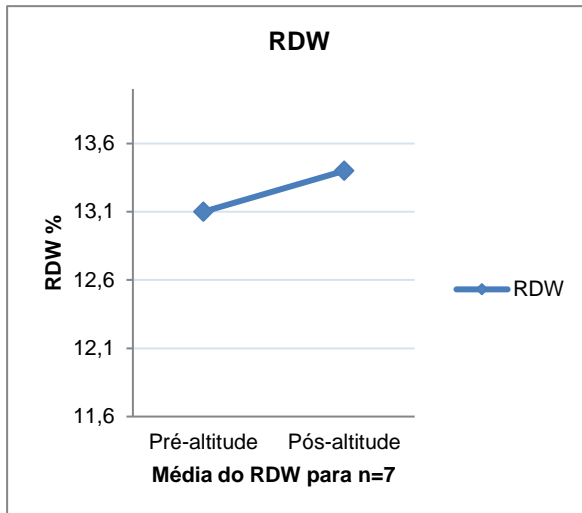


Gráfico 15. Diferença entre as médias pré e pós do RDW

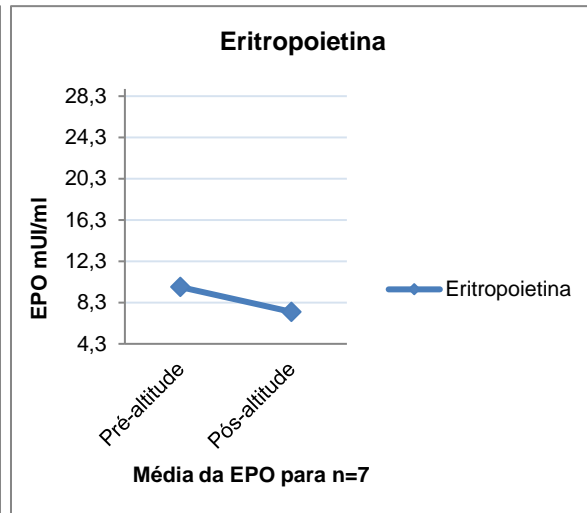


Gráfico 16. Diferença entre as médias pré e pós da EPO

Foi também avaliada a existência ou não de um efeito correlacional entre a variação da EPO e dos restantes parâmetros. Os resultados indicaram que a hormona estabelece uma correlação negativa em relação a todos os parâmetros do eritrograma, embora seja apenas significativa para a [Hb] e para o Htc (ver Tabela 2).

Tabela 2. Teste de correlação entre a EPO e os parâmetros do eritrograma para n=7

	DifRBC	Dif[Hb]	DifHtc	DifVGM	DifHGM	DifCHGM	DifRDW
N	7	7	7	7	7	7	7
DifEPO Correlação de Pearson	-,734	-,877**	-,798*	-,302	-,610	-,575	-,356
Sig. (2-caudas)	,061	,010	,032	,510	,145	,177	,433
N	7	7	7	7	7	7	7

** . Correlação é significativa ao nível 0,01 (2-caudas).

* . Correlação é significativa ao nível 0,05 (2-caudas).

O valor da correlação de Pearson varia entre -1 e 1, sendo que ao valor 1 está associado a correlação perfeita positiva entre duas variáveis; quando o resultado é 0 significa que não existe correlação, ou seja, que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra. Finalmente, ao valor -1 está associada uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis, isto é, se uma aumenta, a outra diminui.

5. Discussão

Através deste estudo, verificou-se um aumento na média dos resultados para a maioria dos parâmetros, sendo a EPO e a CHGM os únicos nos quais se verificou um decréscimo. As alterações significativas, no entanto, ocorreram ao nível do RBC ($t=3,198$; $p=0,019$), da [Hb] ($t=3,077$; $p=0,022$), do Htc ($t=4,871$; $p=0,003$), do VGM ($t=10,883$; $p=0,000$), da CHGM ($t=-4,376$; $p=0,005$) e do RDW ($p=0,034$).

No que diz respeito à EPO, embora não significativa, ocorreu uma ligeira diminuição da mesma (de $9,8\pm 3,5$ para $7,4\pm 2,8$ mUI/ml). Estes dados são suportados por outro estudo, no qual se verificou a descida da concentração desta hormona de $8,5\pm 2,5$ para $7,4\pm 2,1$ ng/ml (Paula & Niebauer, 2010). A [EPO] reflete o balanço entre a produção da hormona pelos rins e o seu consumo pela medula óssea. Na chegada a altitude, a produção da EPO excede o consumo e, portanto, a concentração sérica aumenta. No entanto, a atividade eritroide aumentada induz a um consumo da hormona, o que se traduz no seu decréscimo (Rusko et al., 2004). Para além disso, ocorre uma inibição na produção da EPO aquando do retorno ao nível do mar, devido à supressão do estímulo hipóxico (West et al., 2007; Schmidt & Prommer, 2008). Assim, uma das grandes limitações deste estudo foi a não medição da EPO e dos restantes parâmetros durante a estadia em altitude. É de consenso geral que ocorre um pico na [EPO] durante os primeiros 2 dias de exposição a altitude (Paula & Niebauer, 2010; Rusko et al., 2004), dependendo este aumento do declínio da saturação da oxihemoglobina, que está diretamente associado ao grau de altitude (Christoulas et al., 2011).

Entre os parâmetros do eritograma, verificaram-se aumentos significativos no RBC (4,6%), no Htc (7,5%) e na [Hb] (5,0%). Os resultados vão de encontro a um estudo, no qual um grupo de atletas permaneceu 21 dias a uma altitude de 1550-2050m, verificando-se, de uma forma geral, o aumento destes três parâmetros após o retorno ao nível do mar (Jourdan, 2003). O mesmo autor observou que os valores de Hb e Htc, no final de um estágio de 21 dias a 1860m, aumentavam – o Htc em 6,1% e a Hb em 4,8% (Roels et al., 2006).

A [Hb] é um parâmetro cujo aumento é linear até altitudes de 5500m, aproximadamente (West, 2007). Contudo, é necessário ter presente que o incremento inicial após a chegada a altitude, no que diz respeito à [Hb] e ao Htc, se deve a uma diminuição do volume plasmático (VP) e sanguíneo. Apenas posteriormente o aumento da massa eritrocitária compensa a diminuição do VP, restabelecendo o volume sanguíneo total (Bailey & Davies, 1997). Apesar de se verificar um decréscimo do VP nos primeiros dias após a chegada a altitude, ocorre um restabelecimento rápido dos seus valores (cerca de 2-3 dias) após a chegada ao nível do mar (West, 2007). Desta forma, existe a possibilidade de os resultados

deste estudo, nomeadamente o Htc, terem sido influenciados por um possível VP reduzido. O aumento verificado em relação ao RBC, ao Htc e à [Hb] é possível, uma vez que a massa de glóbulos vermelhos aumenta em algumas semanas e estabiliza apenas ao fim de 6 meses, e a [Hb] aumenta até 6 semanas em altitude (West, 2007).

Na maioria dos estudos consultados, verificou-se que a [Hb] (g/dl) foi medida como massa total de hemoglobina – tHbmass (g/kg), e o Htc (%) foi medido como volume de glóbulos vermelhos – RCV, em ml (Heinicke et al., 2004; Magalhães et al., 2002; Rusko et al., 2004). O método utilizado para estas medições é denominado “CO – *rebreathing*”, e permite verificar alterações mínimas nos analitos, para além de ser muito pouco influenciado pela variação do volume do plasma (Christoulas et al., 2011). Esta constituiu, portanto, outra limitação deste estudo, no que diz respeito aos métodos de doseamento, que acabaram por interferir na credibilidade dos resultados. Uma alternativa à resolução deste problema poderia ter sido, por exemplo, a medição da viscosidade sanguínea, tendo em conta que esta estaria aumentada caso estivesse presente uma diminuição do VP.

No que diz respeito aos restantes parâmetros cujas diferenças foram também significativas, (VGM, CHGM e RDW), a literatura existente é escassa. No entanto, foram analisados estudos em que se referem alterações no VGM, como o que consistiu na realização de um estágio de 13 dias a 1850m de altitude, em que o VGM de 8 nadadores aumentou (Millet et al., 2010). Também noutro estudo realizado durante 31 dias a 2690m de altitude, em ciclistas de classe mundial, observou-se um aumento do VGM ($89,0 \pm 0,4$ para $90,6 \pm 0,4$) 3 dias após o retorno ao nível do mar (Gore et al., 1998).

O RDW aumentado, em conjunto com o VGM aumentado, pode ser um sinal de aparecimento de uma população jovem de RBC na circulação (quanto mais imaturo o glóbulo, maior ele será). Quanto ao motivo da diminuição da CHGM - apesar do aumento verificado no VGM, Htc e [Hb] - é colocada a seguinte hipótese: sendo a CHGM um índice calculado pela razão entre a [Hb] e o Htc, uma vez que o Htc obteve um aumento percentual (7,5%) superior ao da [Hb] (5,0%), então verifica-se uma diminuição expectável deste parâmetro.

Segundo Gore et al. (1998), apenas um aumento na massa de glóbulos vermelhos ou na massa de hemoglobina pode ser visto como um benefício hematológico efetivo, induzido pelo treino em altitude. Infelizmente, muitos estudos, incluindo este, ainda se reportam a valores relativos, como o RBC, [Hb] e Htc. Todos estes parâmetros e, conseqüentemente, os índices hematológicos (VGM, HGM, CHGM e RDW), são influenciados por alterações na volémia (Roels et al., 2006).

O teste de Pearson indica que todas as correlações estabelecidas com a EPO são negativas, sendo que apenas duas delas - EPO vs. Hb e EPO vs. Htc – têm significância

estatística. Esta correlação negativa parece ser justificável, uma vez que apesar da EPO começar a decrescer pouco tempo após o início do estímulo em altitude, a [Hb] e o RBC continuam a aumentar muito depois disso.

Diversos autores afirmam que o limiar de altitude necessário à ocorrência de um estímulo eritropoiético situa-se aproximadamente a 2100-2500m de altitude (Paula & Niebauer, 2010; Magalhães et al., 2002). Portanto, o estímulo hipóxico a que foram sujeitos os atletas foi suficiente para que ocorressem alterações significativas em 6 dos 7 parâmetros do eritrograma. Isto significa que os 2240m de altitude podem ter sido suficientes para induzir o aumento da eritropoiese. Não é possível, no entanto, confirmar este efeito, por dois motivos: a EPO não foi doseada durante o período de treino em altitude, de forma a verificar a sua influência ou não na eritropoiese; para além disso, sendo este um estudo não controlado é impossível determinar se as modificações fisiológicas ocorrentes como resultado da exposição a altitude podem ser atribuídas a um incremento na condição física ou aos efeitos aditivos da hipóxia por si só (Li et al., 2011).

As alterações ocorrentes podem não parecer muito significativas à partida, no entanto é necessário ter em conta que a amostra é constituída por atletas de elite, que poderão já ter maximizado, de certa forma, os seus parâmetros hematológicos, devido aos anos de treino de resistência (Millet et al., 2010).

Apontam-se neste estudo outros aspetos, como a utilização de uma amostra com número reduzido de elementos, o que dificulta a valorização dos resultados obtidos e a extrapolação dos mesmos para a população.

6. Conclusão

Os parâmetros medidos um dia após retorno ao nível do mar, quando em comparação com as medições realizadas antes do estágio em altitude, apresentaram uma diminuição significativa no caso da CHGM, enquanto a maioria dos outros parâmetros - RBC, [Hb], Htc, VGM e RDW - sofreram um aumento significativo.

Em relação à EPO, embora a sua diminuição não tenha sido estatisticamente significativa, os dados vão de encontro à literatura existente. Na chegada a altitude, a produção da EPO excede o consumo e, portanto, a concentração sérica aumenta. No entanto, a atividade eritroide incrementada induz a um consumo da hormona, o que se traduz no seu decréscimo (Rusko et al., 2004). Para além disso, ocorre uma inibição na produção da EPO aquando o retorno ao nível do mar, devido à supressão do estímulo hipóxico (West et al., 2007; Schmidt & Prommer, 2008).

O aumento do RBC, Htc e [Hb] foi também observado num estudo realizado em atletas adolescentes, no qual se verificou o aumento destes três parâmetros após o retorno ao nível do mar (Jourdan, 2003).

No que diz respeito aos restantes parâmetros em que as diferenças das médias pré e pós altitude foram também significativas, VGM, CHGM e RDW, a literatura existente é escassa. No entanto, foi consultado um estudo no qual, durante um estágio de 13 dias a 1850m de altitude, o VGM de 8 nadadores de elite aumentou (Millet et al., 2010).

Os valores aumentados de RDW e VGM podem representar o surgimento na circulação sanguínea de uma população jovem de RBC, pois quanto mais imaturo for o glóbulo, maior a sua dimensão. Observaram-se ainda incrementos nos valores de VGM, Htc e [Hb] e redução da CHGM. Esta redução era expectável, dado que a CHGM é calculada pela razão entre [Hb] e Htc, e tendo este último sofrido um aumento percentual superior ao da [Hb].

Quanto à correlação existente entre a EPO e os restantes parâmetros, esta é negativa e significativa para a [Hb] e o Htc. Apesar dos níveis de EPO começarem a diminuir pouco depois do início do estímulo em altitude, os níveis de [Hb] e o RBC continuam a aumentar muito depois disso. Esta parece ser uma explicação justificativa de tal correlação negativa.

Como referido anteriormente, vários autores apontam que, para a ocorrência de um estímulo eritropoiético, os indivíduos devem situar-se aproximadamente a 2100-2500m de altitude (Paula & Niebauer, 2010; Magalhães et al., 2002). Neste caso, os atletas foram expostos a uma altitude de 2240m, o que se manifestou suficiente para a observação de alterações significativas nos parâmetros do eritrograma. Contudo, não tendo sido a EPO doseada durante o estágio em altitude, e uma vez que estamos perante um estudo não controlado, não é possível afirmar com certeza que a altitude foi responsável pelo estímulo da

eritropoiese, nem é possível determinar se as modificações fisiológicas observadas se devem a um incremento na condição física ou aos efeitos aditivos da hipóxia por si só (Li et al., 2011).

Sendo assim, conclui-se que um estágio de 3 semanas a uma altitude de 2240m provoca alterações significativas no eritrograma, no entanto não significativas na EPO em triatletas de elite, embora não seja possível estabelecer com certeza se essas alterações resultaram do estímulo hipóxico por si só ou de um incremento na condição física. Para além disso, a existência de uma amostra pequena dificulta a valorização dos resultados obtidos e a sua extrapolação para a população.

7. Referências bibliográficas

- Bailey, D. & Davies, B. (1997). Physiological implications of altitude training for endurance performance at sea level: a review. *British Journal of Sports Med*, pp. 183 – 190.
- Birch, K., McLaren, D., & George, K. (2005). *Instant Notes. Sport and Exercise Physiology*. New York: Garland Science/BIOS Scientific Publishers.
- Chang, R. (2005). *Química*. s.l. : Mcgraw-Hill.
- Christoulas, K., Karamouzis, M. & Mandroukas, K. (2011). Living High-Training Low vs Living High-Training High: erythropoietic responses of adolescent cross-country skiers. *Conference communications*, p. 532.
- Cook, J. D., Boy, E., Flowers, C., & Daroca, M. C. (2005). The influence of high-altitude living on body iron. *Blood* , 1441-1446.
- Faura, J., Ramos, J., Reynafarje, C., English, E., Finne, P., & Finch, C. A. (1969). Effect of altitude on erythropoiesis. *Blood* , 668-676.
- Friedmann, B., Frese, F., Menold, E., Kauper, F., Jost, J. & Bartsch, P. (2005). Individual variation in the erythropoietic response to altitude training in elite junior swimmers. *British Journal of Sports Med*, pp. 148 - 153
- Friedmann-Bette, B. (2008). Classical altitude training. *Scandinavian Journal of Medicine and Science Sports* , 11-20.
- Gore, C., Hahn, A., Rice, A., Bourdon, P., Lawrence, S., Walsh, C., Stanef, T., Barnes, P., Parisotto, R., Martin, D. & Pyne, D. (1998). Altitude training at 2690m does not increase total hemoglobin mass or sea level VO₂max in world champion track cyclists. *Journal of Science and Medicine in Sport*, pp. 156 - 170.
- Greer, J., Foerster, J. & Lukens, J. (2003). *Wintrobe's Clinical Hematology*. s.l. : Lippincott Williams & Wilkins.
- Heinicke, K., Heinicke, I., Schmidt, W., & Wolfarth, B. (2004). A three week traditional altitude training increases hemoglobin mass and red cell volume in elite biathlon athletes. *Int J Sports Med* , 350-355.

- Jourdan, A. (2003). Alterações hematológicas, metabólicas e de desempenho ao nível do mar em triatletas de elite como resultado do treino em altitudes moderadas. Tese Mestrado Faculdade de Motricidade Humana - Universidade Técnica de Lisboa
- Li, P., Huang, J., Tian, H., Huang, Q., Jiang, C. & Gao, Y. (2011). Regulation of bone marrow hematopoietic stem cell is involved in high-altitude erythrocytosis. *Experimental hematology*, pp. 37 - 46.
- Magalhães, J., Duarte, J., Ascensão, A., Oliveira, J. & Soares, J. (2002). O desafio da altitude. Uma perspectiva fisiológica. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, pp. 81 - 91.
- Mazzeo, R. S. (2008). Physiological responses to exercise at altitude - an update. *Sports Med*, 1-8.
- Millet, G., Roels, B., Schmitt, L., Woorons, X. & Richalet, J. (2010). Combining hypoxic methods for peak performance. *Sports Medicine*, pp. 1 - 25.
- Nadarajan, V., Ooi, C., Sthaneshwar, P. & Thompson, M. (2008). The utility of immature reticulocyte fraction as an indicator of erythropoietic response to altitude training in elite cyclists. *International Journal of Laboratory Hematology*, pp. 82 - 87.
- Paula, P., & Niebauer, J. (2010). Effects of high altitude training on exercise capacity: fact or myth. *Sleep Breath*.
- Pottgiesser, T., Ahlgrim, C., Ruthardt, S., Dickhuth, H. & Schumacher, Y. (2009). Hemoglobin mass after 21 days of conventional altitude training at 1816m. *Journal of Science and Medicine in Sport*, pp. 673 - 675.
- Roels, B., Hellard, P., Schmitt, L., Robach, P., Richalet, J. & Millet, G. (2006). Is it more effective for highly trained swimmers to live and trained at 1200m then at 1850m in terms of performance and hematological benefits?. *British Journal of Sports Medicine*, pp. 1 - 5.
- Rusko, H., Tikkanen, H., & Peltonen, J. (2004). Altitude and endurance training. *Journal of Sports Sciences*, pp. 928 - 945.
- Santos, P. (2006). *Fisiologia do Exercício. Fisiologia e bioenergética do músculo esquelético [vol I]*. Cacém: A. Manz Produções.
- Schmidt, W. & Prommer, N. (2008). Effects of various training modalities on blood volume. *Scandinavian Journal of Medicine and Sciences in Sports*, pp. 57 - 69.

Schommer, K., & Bärtsch, P. (2011). Basic medical advice for travelers to high altitudes. *Continuing medical education*, pp. 839 - 848.

Stray-Gundersen, J., Chapman, R. & Levine, B. (2001). "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *Journal of Applied Physiology*, pp. 1113 - 1120.

Svedenhag, J., Piehl-Aulin, K., Skog, C. & Saltin, B. (1997). Increased left ventricular muscle mass after long-term altitude training in athletes. *Acta Physiologica Scand*, pp. 63 - 70.

West, J., Schoene, R. & Milledge, J. (2007). *High Altitude Medicine and Physiology*. London: Hodder Arnold Headline Group.

Wilber, R. (2004). *Altitude Training and Athletic Performance*. USA: Human Kinetics Publishers, Inc.

8. Apêndice

FORMULÁRIO DE CONSENTIMENTO INFORMADO

O projecto de investigação “Efeitos fisiológicos do treino em altitude em atletas de triatlo” está inserido na Unidade Curricular de Dissertação do 2º ano do Mestrado em Desporto, da Escola Superior de Desporto de Rio Maior

A investigação está a cargo do aluno Nuno Ricardo e tem como objetivo avaliar a alteração dos parâmetros fisiológicos de triatletas de elite.

Os dados obtidos serão referentes ao estágio em altitude, realizado no centro desportivo CNAR (*Centro Nacional de Desarrollo de Talentos Deportivos y Alto Rendimiento*) localizado na Cidade do México, a 2240 m de altitude, com a duração de 23 dias. Como tal, solicita-se permissão para aceder aos resultados das colheitas sanguíneas realizadas imediatamente antes e após o período de estágio.

Todos os dados dos atletas serão mantidos em anonimato.

Eu,.....(nome completo)

- Li a informação disponibilizada e concordo em ceder os meus dados;
- Tive oportunidade de colocar questões sobre o estudo e esclarecer as minhas dúvidas;
- Recebi informação que considero suficiente sobre o estudo;
- Compreendi que a minha participação neste estudo é voluntária;
- Concordo em participar neste estudo de livre vontade.

Assinatura do atleta

Assinatura do aluno

Data: ___ / ___ / ___

Data: ___ / ___ / ___