



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

# **Avaliação de técnicas de melhoria do comportamento termofisiológico do corpo humano em situações de desporto**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia  
Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

**Autor**

**Miguel Donas Botto Ribeiro**

**Orientador**

**Professor Doutor António Raimundo**

**Júri**

**Presidente** Professor Doutor Divo Augusto Alegria Quintela  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

**Vogais** Professor Doutor Avelino Virgílio F. Monteiro de Oliveira  
Professor no Instituto Superior de Engenharia, Instituto  
Politécnico de Coimbra

Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

---

**Coimbra, Fevereiro, 2016**

“Os trabalhos escolares são provas para o carácter, não para a inteligência.  
Quer se trate de ortografia, de poesia ou de cálculo, está sempre em causa aprender a  
querer.”

*Alain, em *Les Idées et les Âges*, 1927.*

Aos meus pais.

## Agradecimentos

O trabalho que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento.

Ao meu orientador Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo (DEM-FCTUC), deixo o meu sincero agradecimento pela sugestão do tema e pela excelente orientação e disponibilidade para me prestar apoio, tirar dúvidas e explicar com clareza todos os aspetos desta dissertação.

À minha Mãe um agradecimento especial, pois sempre me ajudou ao longo do meu percurso académico, tanto nos bons como nos maus momentos.

À minha Família, em especial aos meus Pais, Irmão, Avós e Tios, que sempre me apoiaram e ajudaram quando precisei.

Um agradecimento muito especial à Catarina Antunes pelo seu amor e compreensão, assim como o seu apoio nos momentos piores e pela motivação que me deu para ultrapassar qualquer obstáculo ao longo deste percurso.

Por último, deixo o meu agradecimento a todos os meus colegas e amigos por todos os bons momentos que me proporcionaram ao longo da minha vida académica.

## RESUMO

No desporto de alta competição a performance do atleta é a chave do seu êxito. Como tal, existem fatores que condicionam essa performance, sendo os mais importantes a temperatura corporal, a desidratação e a insuficiência de hidratos de carbono. Estes fatores influenciam o atleta de forma variada devido ao complexo sistema que é o corpo humano, sendo a desidratação e a ingestão de hidratos de carbono os fatores mais fáceis de corrigir. No que respeita à temperatura, há um considerável acréscimo de dificuldade em controlar o seu efeito no corpo humano, na medida em que influencia o atleta de maneira diferente conforme o desporto praticado.

O presente trabalho tem como principal objetivo a análise do controlo de temperatura aplicada a dois desportos escolhidos, futebol e basquetebol. Através de um *software* de simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano (Human Thermal Regulation – *HuTheReg*), estudou-se a influência de ambientes moderados e quentes na prática dos referidos desportos após validação de técnicas de arrefecimento do corpo humano, recorrendo ao mesmo programa. Estudaram-se apenas técnicas de arrefecimento devido à facilidade que o corpo humano tem em aumentar a temperatura corporal enquanto está em atividade.

A validação é efetuada através da comparação das simulações obtidas pelo programa e os resultados experimentais que existem na bibliografia científica. Como ferramentas auxiliares na avaliação do nível de conformidade entre os resultados simulados e os resultados experimentais utilizaram-se as funções estatísticas média aritmética das diferenças relativas (e respetivo desvio padrão), desvio quadrático médio e o coeficiente de correlação de Pearson. Foi ainda efetuada uma avaliação com recurso a gráficos.

Tal como em estudos anteriores, mesmo quando se encontraram disparidades entre a bibliografia científica e as simulações do programa (nomeadamente na temperatura da pele), não é garantido que a falha seja do programa, já que a bibliografia científica tem sempre dados em falta, sendo necessário muitas vezes arbitrá-los.

O programa teve dificuldade em simular casos com níveis de atividade metabólica muito altos, obrigando a fazer um ajustamento para o programa executar a

simulação com um nível de atividade metabólica correspondente a um indivíduo destreinado, já que o programa ainda não tem implementada uma equação funcional para ter em conta o nível de treino do indivíduo.

Após efetuar o ajuste sugerido, o programa demonstrou boa capacidade para simular e validar as situações analisadas, tendo sido posteriormente simuladas e analisadas técnicas de arrefecimento aplicadas a dois desportos (basquetebol e futebol).

Com base na análise dos casos simulados pelo programa, aconselha-se a utilização da técnica de pré-arrefecimento, permitindo assim aos atletas começar o exercício num estado térmico mais favorável e, teoricamente, aumentar a sua performance. Em desportos com vários intervalos ou paragens, aconselha-se a ingestão de bebida fria em volume considerável, já que é um método de fácil implementação que demonstrou ter algum benefício nesses casos.

Finalmente, e havendo essa possibilidade, recomenda-se a aplicação simultânea das 3 técnicas de arrefecimento corporal em ambos os desportos, já que se alcançaram melhores resultados do que com a aplicação individual de cada técnica estudada.

**Palavras-chave:** Desempenho, Stresse Térmico, Modelo Termofisiológico, Técnicas de Arrefecimento Corporal, Desporto.

## **ABSTRACT**

In competitive sport, the athlete's performance is crucial, and among the most relevant factors with an effect on that performance are bodily temperature, dehydration and low carbohydrate intake. Given the complexity of the human body, these factors will affect the athletic performance in different ways, while dehydration and carbohydrate intake are the easiest to correct. As far as temperature is concerned, controlling its impact on the human body is considerably more difficult, given that its effect on the athlete will depend on the sport in question.

The main purpose of this study is the analysis of temperature control in two specific sports – football and basketball. The influence of warm environments on the practice of the abovementioned sports was the object of study, with the help of a thermophysiological human simulation software (Human Thermal Regulation – HuTheReg), after the validation of cooling techniques of the human body supported by the same software. The study focuses exclusively on cooling techniques, given the human body's propensity to increase its bodily temperature while in movement.

The validation is based on the comparison between the simulations achieved by the software and the experimental results available in the scientific bibliography. The auxiliary tools used in the evaluation of the level of conformity between the simulated and the experimental results were the statistical functions arithmetic mean of relative differences (and corresponding standard deviation), the average quadratic deviation and Pearson's correlation coefficient. In addition, this study includes an assessment based on graphs.

As noted in previous studies, even when there were disparities between the scientific bibliography and the simulation results (namely in skin temperature), this does not necessarily imply a shortcoming on the part of the software, given that very often the scientific bibliography has insufficient data, which means that it is often necessary to fill these in.

The software encountered some difficulties in simulations involving very high metabolic activity. An adjustment was required to have the software run the simulation with the level of metabolic activity corresponding to that of an untrained individual, given that it

is not equipped with a functional equation which will take into account the subject's level of training.

Once that adjustment was made, the software achieved good results in the simulation and validation of the situations under analysis, and a number of cooling techniques were simulated and analysed in the case of basketball and football.

After an analysis of the simulations run by the software, the adoption of a pre-cooling technique is advised, thus allowing the athletes to start their training in a more favourable thermal state, and, theoretically, to improve their performance. In sports with several breaks, a substantial amount of cold liquids is recommended, a simple and easily implemented method which has shown some good results.

Finally, the simultaneous application of the 3 cooling techniques was found to achieve the best results.

**Keywords** Performance, Heat Stress, Thermophysiological Model, Body Cooling Techniques, Sports.

## ÍNDICE

Índice de Figuras .....	vii
Índice de Tabelas .....	ix
Simbologia e siglas .....	x
Simbologia .....	x
Siglas .....	xiii
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Revisão Bibliográfica .....	2
1.3. Objetivos .....	3
2. O PROGRAMA <i>HuTheReg</i> .....	5
2.1. Descrição Geral e Funcionamento do Programa .....	5
2.2. Algoritmo Global de Cálculo .....	7
2.3. Validação do Modelo de Termorregulação .....	9
2.3.1. Ferramentas de análise estatística .....	10
2.3.2. Validação do modelo de termorregulação em situações variadas .....	11
2.3.3. Validação em situações de desporto .....	16
3. CASOS EM ESTUDO .....	26
3.1. Técnicas de Arrefecimento a Testar .....	26
3.1.1. Arrefecimento por imersão das mãos e antebraços em água fria - AIMA .....	26
3.1.2. Pré-arrefecimento em ambiente frio - PAAF .....	27
3.1.3. Arrefecimento com recurso a bebida fria - ABF .....	28
3.2. Práticas Desportivas a Analisar .....	28
3.2.1. Basquetebol .....	30
3.2.2. Futebol de onze .....	32
3.3. Síntese das Situações a Analisar .....	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	36
4.1. Basquetebol .....	36
4.1.1. Arrefecimento por imersão das mãos e antebraços em água fria .....	36
4.1.2. Pré-arrefecimento em ambiente frio .....	36
4.1.3. Arrefecimento por ingestão de bebida fria .....	38
4.1.4. Análise comparativa entre as várias técnicas de arrefecimento .....	38
4.2. Futebol .....	41
4.2.1. Arrefecimento por imersão das mãos e antebraços em água fria .....	41
4.2.2. Pré-arrefecimento em ambiente frio .....	41
4.2.3. Arrefecimento por ingestão de bebida fria .....	43
4.2.4. Análise comparativa entre as várias técnicas de arrefecimento .....	44
5. CONCLUSÃO .....	46
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Discretização dos segmentos do corpo humano (adaptado de Gourgel, 2011).	9
Figura 2.2 - Comparação entre resultados experimentais (pontos) e simulados (linhas) para temperaturas retal, timpânica(exp.)/hipotálamo (calc.) e média da pele, calor produzido pelo metabolismo, para uma 1h exposição com $T_{ar}=T_{mr}$ , $v_{ar}=0,2$ m/s, $HR=50\%$ , $I_{cl}=0,1$ clo e $Act=0,8$ met (Raimundo e Figueiredo, 2009).	12
Figura 2.3 - Comparação entre resultados experimentais (pontos) e simulados (linhas) para temperaturas retal e média da pele, calor produzido pelo metabolismo, calor perdido por evaporação, para mudanças súbitas de temperatura de $43^{\circ}\text{C}$ para $17^{\circ}\text{C}$ e de volta para $43^{\circ}\text{C}$ , com $T_{ar}=T_{mr}$ , $v_{ar}=0,2$ m/s, $HR=30\%$ , $I_{cl}=0,1$ clo e $Act=0,1$ met (Raimundo e Figueiredo, 2009).	12
Figura 2.4 - Comparação entre valores experimentais (pontos) e valores simulados (linhas) para as temperaturas retal, corpo e da pele, calor produzido e armazenado por indivíduos nus ao passar de um ambiente neutro para um ambiente muito frio. (Pereira, 2014).	13
Figura 2.5 - Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para as temperaturas $T_{re}$ e $T_{sk}$ no caso 2, em que o arrefecimento é efetuado por imersão das mãos e dos antebraços em água a $17,4^{\circ}\text{C}$ (Anjo, 2015).	14
Figura 2.6 - Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a $T_p$ no caso 5, em que na fase de recuperação os indivíduos vestiam coletes de gelo como técnica de arrefecimento corporal (Anjo, 2015).	15
Figura 2.7 - Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a $T_p$ no caso 6, em que a recuperação é efetuada com recurso a ventiladores (Anjo, 2015).	15
Figura 2.8 - Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para as temperaturas $T_{re}$ e $T_{sk}$ no caso 1, em que se efetuou um pré-arrefecimento com ar a $5^{\circ}\text{C}$ durante 30 minutos.	22
Figura 2.9 - Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para as temperaturas $T_{re}$ no caso 2, em que os indivíduos ingeriram água a uma temperatura de $3,6^{\circ}\text{C}$ a cada 15 minutos.	23
Figura 2.10 - Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para as temperaturas $T_{re}$ e $T_{sk}$ no caso 3, em que os indivíduos usaram um colete de gelo para recuperação após exercício.	24
Figura 3.1 - Fluxograma das três técnicas simuladas pelo programa. Imersão em água, ingestão de bebida fria e pré-arrefecimento, pela respetiva ordem.	31
Figura 3.2 - Fluxograma das três técnicas simuladas pelo programa. Imersão em água, ingestão de bebida fria e pré-arrefecimento, pela respetiva ordem.	33

Figura 4.1 - Comparação de resultados obtidos para o desporto de basquetebol entre o grupo de controlo (sem técnica aplicada) e a técnica de arrefecimento por imersão das mãos e antebraços em água fria. ....	37
Figura 4.2 - Comparação de resultados obtidos para o desporto de basquetebol entre o grupo de controlo (sem técnica aplicada) e a técnica de pré-arrefecimento em ambiente frio.....	37
Figura 4.3 - Comparação de resultados obtidos para o desporto de basquetebol entre o grupo de controlo (sem técnica aplicada) e a técnica de arrefecimento por ingestão de bebida fria. ....	38
Figura 4.4 - Comparação de resultados obtidos para o desporto de basquetebol entre o grupo de controlo (sem técnica aplicada) e as três técnicas de arrefecimento testadas (individuais e simultaneamente aplicadas). ....	39
Figura 4.5 - Comparação de resultados obtidos para o desporto de futebol entre o grupo de controlo (sem técnica aplicada) e a técnica de arrefecimento por imersão das mãos e antebraços em água fria. ....	41
Figura 4.6 - Comparação de resultados obtidos para o desporto de futebol entre o grupo de controlo (sem técnica aplicada) e a técnica de pré-arrefecimento em ambiente frio. ....	42
Figura 4.7 - Comparação de resultados obtidos para o desporto de futebol entre o grupo de controlo (sem técnica aplicada) e a técnica de arrefecimento por ingestão de bebida fria. ....	43
Figura 4.8 - Comparação de resultados obtidos para o desporto de futebol entre o grupo de controlo (sem técnica aplicada) e as três técnicas de arrefecimento testadas (individuais e simultaneamente aplicadas). ....	44

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Análise comparativa dos resultados obtidos.....	25
Tabela 3.3.1. Resumo da Fase de imersão em água a 20°C.....	27
Tabela 3.3.2. Resumo da Fase Pré-arrefecimento a 10°C .....	28
Tabela 3.3 - Características físicas do basquetebolista.....	29
Tabela 3.4 - Características físicas do futebolista .....	29
Tabela 3.5 - Resumo da fase de estabilização térmica (neutra).....	29
Tabela 3.6 - Resumo das características da fase de Jogo/aquecimento.....	30
Tabela 3.7 - Resumo das características da fase Repouso/Intervalo .....	32
Tabela 3.8 - Resumo das características da fase de Jogo/aquecimento.....	34
Tabela 3.9 - Resumo das características da fase Repouso/Intervalo .....	34
Tabela 3.10 - Resumo das técnicas aplicadas.....	35
Tabela 4.1 - Análise estatística da aplicação de técnicas de arrefecimento corporal no desporto de basquetebol (relativamente ao grupo de controlo).....	40
Tabela 4.2 - Análise estatística da aplicação de técnicas de arrefecimento corporal no desporto de futebol (relativamente ao grupo de controlo) .....	45

## SIMBOLOGIA E SIGLAS

### Simbologia

Símbolo	Significado	Unidades
$BC$	Batimentos cardíacos	[bpm]
$B_i$	Troca de calor entre todas as camadas locais e o compartimento sanguíneo central	[W]
$B_f$	Percentagem de gordura corporal	[%]
$Cond1_i$	Perda de calor por condução para o vestuário	[W]
$Cond2_i$	Perda de calor por condução por contato direto com superfícies externas	[W]
$Conv_i$	Transferência de calor por convecção	[W]
$cp_b$	Calor específico do sangue	[J/kg.°C]
$cp_{clo}$	Calor específico do vestuário	[J/kg.°C]
$cp_i$	Calor específico do corpo humano	[J/kg.°C]
$DQM$	Desvio quadrático médio das diferenças relativas	-
$F_{pcl}$	Fator de permeabilidade ao vapor do vestuário	-
$h$	Altura dos indivíduos	[m]
$HR$	Humidade relativa	[%]
$I_{cl}$	Resistência térmica intrínseca do vestuário	[clo]
$I_{cl,global}$	Valor global da resistência térmica intrínseca do vestuário	[clo]

$M$	Intensidade da atividade realizada pelo indivíduo	[met]
$m_b$	Massa de sangue	[kg]
$MB_i$	Metabolismo basal do nodo	[W]
$M_{cor}$	Intensidade da atividade realizada pelo indivíduo (corrigido)	[met]
$m_i$	Massa do nodo do corpo humano	[kg]
$Persp_i$	Perda de calor por perspiração	[W]
$Q_{j,i}$	Calor transferido por condução do nodo $j$ para o nodo $i$	[W]
$r$	Coefficiente de Correlação de Pearson	-
$Rad1_i$	Transferência de calor por radiação infravermelha com ambientes e temperatura conhecida	[W]
$Rad2_i$	Transferência de calor por fluxo radiativo de uma fonte específica	[W]
$Resp_i$	Perda de calor pela respiração	[W]
$Sh_i$	Produção de calor por tremuras	[W]
$Sw_i$	Perda de calor por transpiração	[W]
$t$	Tempo	[s]
$T$	Temperatura	[°C]
$T_{água}$	Temperatura da água	[°C]
$T_{ar}$	Temperatura do ar ambiente (ou de outro fluido)	[°C]
$T_{hip}$	Temperatura do hipotálamo	[°C]
$T_{mr}$	Temperatura média radiante	[°C]
$T_p$	Temperatura profunda do corpo	[°C]

$T_{re}$	Temperatura retal	[°C]
$T_{sk}$	Temperatura média da pele	[°C]
$v_{ar}$	Velocidade do ar	[m/s]
$VO_2$	Consumo de oxigénio pelo organismo	[ml/kg.min]
$VO_{2max}$	Consumo de oxigénio máximo pelo organismo	[ml/kg.min]
$w$	Massa corporal dos indivíduos	[kg]
$We_i$	Produção de calor por realização de trabalho externo	[W]
$Wi_i$	Produção interna de calor por tremores musculares	[W]
$x_i$	Valores medidos	-
$\bar{x}$	Média aritmética dos valores medidos	-
$y_i$	Valores previstos	-
$\bar{y}$	Média aritmética dos valores previstos	-
$\delta$	Média das diferenças relativas entre valores medidos e previstos	-
$\varepsilon$	Emissividade do vestuário ou superfície exterior da pele	-
$\sigma$	Desvio padrão das diferenças relativas entre valores medidos experimentalmente e previstos pelo programa	-

## **Siglas**

ABF – Arrefecimento com Recurso a Bebida Fria

AIMA – Arrefecimento por Imersão das Mãos e Antebraços em Água Fria

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

ISO – International Standards Organization

NASA – National Aeronautics and Space Administrations

OMS – Organização Mundial de Saúde

PAAF – Pré-arrefecimento em Ambiente Frio

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

A prática desportiva de alta competição é uma atividade que impõe um esforço enorme ao corpo humano. Os atletas estão constantemente a aumentar a sua capacidade e muitas vezes não tem escolha nos ambientes que encontram perante tais esforços. Sendo assim, devem tentar adaptar-se da melhor forma possível. Em ambientes frios, graças à facilidade que o corpo humano tem em aumentar a temperatura na prática desportiva, não é necessário tomar grandes precauções para além de um breve aquecimento antes de iniciar a atividade física, até mesmo para prevenir lesões. No entanto, quando submetidos a ambientes quentes, o corpo humano fica limitado na sua capacidade de resposta, pois qualquer atividade que se inicie vai produzir mais calor.

O controlo da temperatura no corpo humano é de imensa importância no desempenho dos atletas, pois até a mínima diferença de milésimos de segundo pode fazer a diferença. Os humanos são seres endotérmicos (termo que veio substituir o termo homeotérmico), isto é, são capazes de regular a temperatura corporal profunda, de forma a mantê-la dentro de um determinado intervalo, sendo a temperatura profunda ótima de funcionamento do corpo humano de cerca de  $36.8\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  (Hanna & Tait, 2015), podendo essa temperatura variar até  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  para estar dentro da gama de temperaturas considerada normal.

Durante o esforço físico, cerca de 70 a 80% da energia produzida pelos músculos é sob a forma de calor e não trabalho mecânico - isto é, são surpreendentemente ineficazes. Na realização de atividades desportivas de alta intensidade, o corpo humano sofreria sobre-aquecimento em poucos minutos caso não entrassem em ação mecanismos de controlo de temperatura. O balanço térmico (homeostase) ocorre quando os ganhos térmicos são semelhantes às perdas, processo este que ocorre através da termoregulação e/ou aclimatação. No caso das perdas serem superiores, o calor é armazenado nos fluidos corporais, músculos e ossos, resultando num aumento de temperatura corporal profunda e superficial (Sawka *et al.*, 2011). No caso de haver um ganho significativo de calor em que a temperatura do corpo humano seja  $T_p > 39^{\circ}\text{C}$  (hipertermia) ou uma perda significativa de calor em que  $T_p < 35^{\circ}\text{C}$



(hipotermia), considera-se que a termorregulação está comprometida (Taylor, 2006). Torna-se então necessário recorrer a medidas de segurança de forma a contrariar ambas as situações e atenuar consequências graves que possam surgir, embora na prática desportiva sejam raros casos tão extremos pois o atleta pode simplesmente parar - ao contrário de, por exemplo, bombeiros, cuja vida depende muitas vezes da sua capacidade de resposta (que pode ficar comprometida devido ao aumento excessivo da temperatura corporal).

## 1.2. Revisão Bibliográfica

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), o stresse térmico é definido pela quantidade de calor que tem de ser produzido ou dissipado pelo corpo humano, de forma a manter o equilíbrio térmico (OMS, 1969).

Na prática desportiva de alta competição, os atletas podem chegar a produzir entre 3 a 12 vezes mais calor do que em repouso, o que, quando aliado a temperaturas ambientes elevadas, pode comprometer o sistema de termorregulação do corpo humano, podendo levar a hipertermia (Sawka *et al.*, 2011). Existem vários fatores que podem ajudar a comprometer a termorregulação no corpo humano quando aliados à prática desportiva, entre os quais a idade, o peso, o nível de treino, a desidratação, a aclimação, o metabolismo, o uso de medicamentos, o uso de estupefacientes e certas condições médicas. (Berry, 2013). Na maior parte dos casos, a medição da temperatura retal ( $T_{re}$ ) é usada na representação da temperatura profunda do corpo humano para estimar possíveis lesões. No entanto, quando a região preóptica do hipotálamo aquece, o hipotálamo aciona um estímulo que possibilita uma resposta do sistema eferente através de mecanismos de termorregulação, tais como a vasodilatação, sudção e outros mecanismos que possibilitam a dissipação de calor (Boulant, 2000). Sendo o hipotálamo um dos principais órgãos no controlo da temperatura, é de esperar uma melhor relação entre a temperatura do hipotálamo e os vários estados fisiológicos e sensoriais (Raimundo e Figueiredo, 2009).

Através de uma análise de vários casos, Raimundo e Figueiredo (2009) propuseram que para valores de temperatura do hipotálamo ( $T_{hip}$ ) acima de 39°C, ocorreria introversão e transpiração violenta. Para  $T_{hip}$  acima de 41°C, ocorreria o golpe de calor com interrupção da transpiração e desmaio do indivíduo. Aos 42°C ocorreriam danos cerebrais irreversíveis. Ao atingir os 44°C ocorreria a morte do indivíduo. Do lado oposto, para

temperaturas abaixo de 34°C para  $T_{hip}$ , ocorreria também introversão, juntamente com a produção de tremores violentos. Para  $T_{hip}$  abaixo de 30°C, ocorreria o golpe de calor, com a interrupção dos tremores e desmaio do indivíduo. Ao chegar aos 28°C e para temperaturas inferiores, ocorreria a fibrilação ventricular, culminando em morte do indivíduo quando a temperatura fosse igual ou inferior a 25°C. Se os mecanismos de termorregulação não fossem acionados por alguma razão, ao fim de menos de 5 km de corrida a temperatura profunda do corpo alcançaria níveis perigosos. No início da atividade física a temperatura aumenta de forma rápida devido à produção de calor ser superior à dissipação de calor, mas com o aumento da temperatura do hipotálamo, os mecanismos de termorregulação regulam a temperatura de forma mais eficaz com o passar do tempo (Kenefick *et al.*, 2007).

A hidratação é de extrema importância, já que uma má hidratação leva a um decréscimo de performance através de um aumento da temperatura retal e também de um aumento de batimentos cardíacos, assim como a um decréscimo da taxa de sudação. Com esta dissipação de calor debilitada, a temperatura corporal pode aumentar para valores acima de 40°C (Convertino *et al.*, 1996).

### 1.3. Objetivos

O presente trabalho tem como principal objetivo validar um software de simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano, o programa *HuTheReg*, em situações de desporto, e após a validação, pretende-se simular situações reais através do estudo de várias técnicas de melhoria do desempenho termofisiológico do corpo humano e ver o impacto das mesmas pela análise dos resultados do *software*. Pretende-se também tirar conclusões acerca da capacidade de previsão do *software* para elevados valores de esforço físico, comuns em atletas de alta competição.

A validação do modelo é efetuada por comparação das simulações do programa com os resultados experimentais existentes na bibliografia científica em situações de desporto. Foram apenas considerados casos para temperaturas médias e elevadas, pois quando as temperaturas são baixas, o exercício físico ou o sistema de termorregulação humano ou ambos, em conjunto, conseguem manter os níveis de temperatura corporal dentro de limites adequados à prática desportiva, ao contrário do que acontece com altas

temperaturas. Todos os casos têm níveis de atividade considerados muito altos, com um tipo de vestuário constante (t-shirt, slíps, calções, meias e sapatilhas).

As funções estatísticas média aritmética das diferenças relativas (e respetivo desvio padrão), desvio quadrático médio e o coeficiente de correlação de Pearson foram utilizadas como ferramentas auxiliares para a avaliação do nível de conformidade entre os resultados experimentais retirados da bibliografia e os resultados previstos. Recorreu-se também a uma avaliação com recurso a gráficos.

## **2. O PROGRAMA *HuTheReg***

O programa *HuTheReg* (*Human Thermal Regulation*) permite efetuar a simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano, desenvolvido no DEM-FCTUC (Raimundo *et al.*, 2012). Este programa realiza a simulação numérica da resposta térmica transiente de indivíduos recorrendo a um modelo de termorregulação do corpo humano baseado no modelo desenvolvido por Stolwijk para a NASA, cujo objetivo era prever o comportamento termofisiológico dos astronautas. Recorrendo a este programa, será feita uma validação da sua capacidade de previsão em situações de desporto, para depois o aplicar a situações reais (simulação de jogos).

### **2.1. Descrição Geral e Funcionamento do Programa**

O modelo para a simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano usado no programa *HuTheReg*, como referido anteriormente, tem como base o modelo de termorregulação de Stolwijk (1971), com alguns ajustes que foram surgindo na bibliografia científica que permitiram melhorar o modelo. O seu algoritmo de cálculo baseia-se em duas componentes, uma ativa e outra passiva. A componente passiva é a responsável pelas trocas de calor entre os vários nodos que compõem o modelo e entre estes e o vestuário e/ou a envolvente, e não tem qualquer capacidade de ação de modo a manter a temperatura corporal nos valores mais adequados. A componente ativa gere as reações a eventuais evoluções térmicas adversas.

A simulação com recurso a este programa é feita através de “fases”. Cada uma dessas fases envolve um cenário possível, contendo informação utilizada para a simulação no programa, como, por exemplo, a duração da fase, a atividade metabólica do indivíduo, o ambiente térmico, a massa do vestuário, a impermeabilidade do mesmo, a bebida ingerida e o modo como troca calor com a envolvente. De cada vez que alguma destas variáveis muda, é necessário criar um nova fase com a alteração das variáveis que se pretende. O utilizador pode acrescentar fases de transição quando achar necessário, pois ao alterar uma destas

váriaveis e criar uma nova fase, o programa assume que as mudanças de fase ocorrem de modo instantâneo, o que pode não corresponder à realidade.

As fases utilizadas para leitura do programa são compostas por ficheiros de texto, cuja extensão é “.p00”, sendo este primeiro ficheiro o que contém a informação geral sobre a simulação a efetuar e os dados da pessoa (altura, peso, nível de treino e outros). Os restantes ficheiros com extensão semelhante (.p01, .p02, ..., .p20) contêm informação sobre as fases que compõem a simulação, sendo apenas necessário criar os ficheiros que se considerar necessários. Cada um destes ficheiros deve conter a informação necessária para o programa simular a fase corretamente, caso contrário os resultados serão incorretos ou inconclusivos. Os ficheiros de dados relativos a cada uma das fases devem conter a seguinte informação: (i) duração da fase; (ii) caracterização do ambiente térmico (identificar o fluido envolvente, que pode ser água ou ar, temperatura do mesmo, temperatura média radiante das superfícies envolventes, humidade relativa do ar ambiente, velocidade do fluido); (iii) descrição da atividade efetuada pelo indivíduo na presente fase (atividade metabólica, postura, orientação face às fontes térmicas, ingestão de alimentos ou bebidas, entre outras); (iv) Caracterização do vestuário (ou da pele para os segmentos nus) para cada um dos 22 segmentos do corpo humano (massa, calor específico, resistência térmica intrínseca, permeabilidade ao vapor, emissividade da superfície exterior); e (v) método de determinação dos coeficientes de transmissão de calor por convecção e por radiação entre o indivíduo e o ambiente.

Para cada simulação, o programa gera 4 ficheiros com resultados com as extensões: “.flx”, “.grl”, “.res” e “.tsk”. O ficheiro com a extensão “.res” contém informações gerais sobre a simulação (dados, resultados globais e específicos, evolução do cálculo e mensagens de erro) e pode ser acedido com qualquer programa de edição de texto. O ficheiro “.flx” contém informação acerca dos fluxos de calor do corpo humano, como por exemplo o calor perdido por perspiração, suor e respiração, o calor produzido por tremuras musculares e pelo metabolismo, calor acumulado, etc. O ficheiro “.grl” contém informação relativa às várias temperaturas do corpo, tais como a temperatura média do corpo, temperatura retal, temperatura do sangue, temperatura do hipotálamo, entre outras. Por último, o ficheiro “.tsk” contém informação sobre as várias temperaturas da pele correspondentes a cada parte do corpo avaliada no programa, a sua evolução ao longo do tempo, assim como a temperatura média, máxima e mínima.

## 2.2. Algoritmo Global de Cálculo

O algoritmo global de cálculo utilizado no modelo de termorregulação tem vindo a ser melhorado por diversos autores. Muitos destes modelos foram validados através da comparação com resultados experimentais, tornando-se em boas ferramentas de simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano perante diferentes condições.

O presente modelo de termoregulação é composto por 89 nodos, dividindo o corpo humano em 22 segmentos (ver Figura 2.1): face, escalpe, pescoço, peito, abdómen, parte superior das costas, parte inferior das costas, pélvis, ombro esquerdo, ombro direito, braço esquerdo, braço direito, antebraço esquerdo, antebraço direito, mão esquerda, mão direita, coxa esquerda, coxa direita, perna esquerda, perna direita, pé esquerdo e perna direita. Cada um destes segmentos é composto por 4 camadas (núcleo, músculo, gordura e pele). O nodo nº89 corresponde ao compartimento sanguíneo central. A informação de cada nodo chega ao sistema de controlo através da corrente sanguínea e de impulsos nervosos emitidos pelos sensores térmicos que se encontram na pele e nos órgãos corporais profundos. Essa informação é posteriormente traduzida em comandos.

A evolução da temperatura ( $T$ ) ao longo do tempo ( $t$ ), em cada nodo ( $i$ ) do corpo humano (à exceção do sangue), é dada pela seguinte equação genérica (Raimundo & Figueiredo, 2009):

$$m_i c p_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = \sum_{j=1}^{88} Q_{j,i} + M B_i + W i_i + W e_i + S h_i - B_i - R e s p_i - P e r s p_i - S w_i - C o n d 1_i - C o n d 2_i - C o n v_i - R a d 1_i - R a d 2_i \quad (2.1)$$

onde  $m_i$  e  $c p_i$  são a massa e o calor específico de cada nodo, respetivamente. O termo ( $Q_{j,i}$ ) representa o calor transferido por condução através dos tecidos no interior de cada segmento, individualmente. A taxa de produção de calor é expressa pelo resultado do metabolismo basal ( $M B_i$ ) do trabalho interno ( $W i_i$ ), do trabalho externo ou movimento ( $W e_i$ ) e dos tremores ( $S h_i$ ), este último a ocorrer apenas na camada do músculo. A troca de calor entre o compartimento sanguíneo central e todas as camadas locais é contabilizada através do termo ( $B_i$ ). A perda de calor por respiração ( $R e s p_i$ ) é composta por uma parte sensível e por uma parte latente ocorrendo apenas ao nível dos componentes que constituem o trato respiratório.

A repartição das perdas de calor pela respiração é efetuada seguindo os coeficientes propostos por Fiala *et al.* (1999), sendo imputados 20% ao nodo correspondente ao núcleo da face, 25% ao músculo da face, 25% à banda muscular do pescoço e 30% ao núcleo do peito (os pulmões). A perda de calor por evaporação tem duas componentes, perspiração ( $Persp_i$ ) e transpiração ( $Sw_i$ ), ambas em função das propriedades higroscópicas do vestuário, do estado térmico do indivíduo e da pressão parcial de vapor de água na superfície da pele e do ar ambiente. Na superfície da pele, o calor é perdido por condução para o vestuário ( $Cond1_i$ ) e por contacto direto das partes despidas com superfícies externas ( $Cond2_i$ ). Ainda para as partes despidas, a transferência de calor pode ocorrer por convecção com o ar ambiente ( $Conv_i$ ), por radiação infravermelha com ambientes de temperatura conhecida ( $Rad1_i$ ) e por incidência de um fluxo de radiação de uma fonte específica ( $Rad2_i$ ). Para segmentos cobertos com vestuário, os termos  $Cond2_i$ ,  $Conv_i$ ,  $Rad1_i$  e  $Rad2_i$  não são tidos em conta na camada da pele, mas sim na face externa do vestuário correspondente.

O balanço térmico no compartimento sanguíneo central é expresso pela seguinte equação (Raimundo & Figueiredo, 2009):

$$m_b cp_b \frac{\partial T_b}{\partial t} = \sum_{i=1}^{88} B_i \quad (2.2)$$

em que  $m_b$  e  $cp_b$  são a massa e o calor específico do sangue que circula no corpo humano, respetivamente.

A capacidade térmica de cada nodo é calculada a partir do calor específico do tecido que constitui cada nodo. É também assumido que circula no compartimento sanguíneo central uma quantidade de sangue de 2,5 litros. Segundo Tanabe *et al.* (2002), e para um indivíduo com características individuais de referência, o calor específico individual assumido para cada tecido é de 0,580 Wh/(kg°C) para os ossos, 0,696 Wh/(kg°C) para a gordura corporal e 1,044 Wh/(kg°C) para outros tecidos.

Para uma descrição mais pormenorizada do presente modelo, aconselha-se a consulta do relatório de dissertação de Anjo (2015).

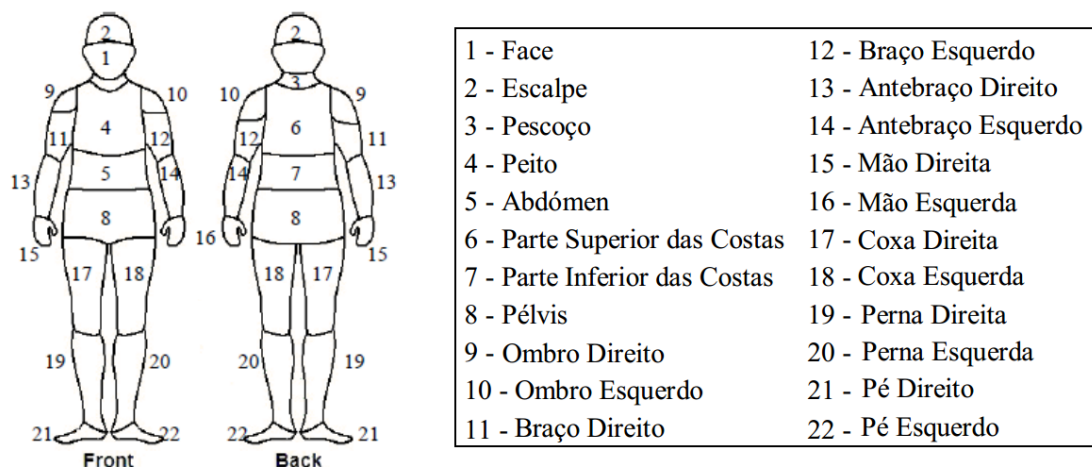


Figura 2.1 - Discretização dos segmentos do corpo humano (adaptado de Gourgel, 2011)

### 2.3. Validação do Modelo de Termorregulação

A validação do modelo de termorregulação assenta na comparação de resultados experimentais com as previsões obtidas por simulação recorrendo ao programa *HuTheReg*. É importante ter os dados necessários para se poder fazer uma simulação tão aproximada quanto possível, embora na maior parte dos casos não esteja disponível toda a informação necessária disponível, tendo que se arbitrar algumas variáveis que, mesmo não sendo muito importantes, podem sempre ter algum impacto nos resultados finais.

O modelo de termorregulação foi já previamente validado por outros autores para diversas situações, nomeadamente exposição a diversos ambientes térmicos (de muito frio a muito quente), níveis de atividade (baixo nível de intensidade até relativamente alto), assim como com vários níveis de vestuário (Pereira, 2014; Raimundo *et al.*, 2015). Foi aplicado também para prever riscos para a saúde de bombeiros enquanto combatiam incêndios, de forma a avaliar quais as melhores técnicas de arrefecimento da temperatura interna do corpo ou implementar um protocolo de segurança para os mesmos (Abreu, 2013; Abreu *et al.*, 2014; Anjo, 2015). Apesar de já existirem bastantes estudos com diversas validações, é importante referir que ainda não existe nenhuma validação e aplicação do programa em situações de desporto (nível de intensidade muito elevado).



### 2.3.1. Ferramentas de análise estatística

Para validação do modelo na avaliação do nível de conformidade entre os resultados experimentais retirados da bibliografia e os simulados pelo programa recorreu-se às funções estatísticas média aritmética das diferenças relativas ( $\delta$ ), o respetivo desvio padrão ( $\sigma$ ), o desvio quadrático médio (*DQM*) e o coeficiente de correlação de *Pearson* ( $r$ ).

Assumindo um conjunto de  $n$  medições experimentais de valor  $x_i$  e um conjunto de  $n$  previsões do programa *HuTheReg* de valor  $y_i$ . Se estes dois conjuntos de dados forem obtidos exatamente para as mesmas condições, podem ser emparelhados, isto é, a média das diferenças relativas ( $x_i - y_i$ ) é dada por:

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)}{n} \quad (2.3)$$

Se da equação resultar um valor positivo, significa que, globalmente, os resultados experimentais têm um valor superior aos previstos pelo programa e vice-versa.

Para avaliar a dispersão dos valores obtidos para as diferenças relativas ( $x_i - y_i$ ) recorreu-se ao seu desvio padrão, obtido através da seguinte equação:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - y_i) - \delta]^2}{n - 1}} \quad (2.4)$$

Para um valor nulo de  $\sigma$  não existe dispersão, isto é, todas as diferenças relativas têm o mesmo valor. Para valores elevados verifica-se dispersão.

Recorreu-se também à equação do desvio quadrático médio para uma maior segurança na análise:

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (2.5)$$

De um modo geral, quanto menor for o valor de *DQM*, mais próximos estarão os valores previstos dos experimentais e vice-versa.

Para analisar a relação existente entre a evolução temporal dos valores previstos pelo programa e a evolução temporal dos correspondentes valores experimentais, recorreu-se ao coeficiente de relação de *Pearson*, dado por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})^2] \sum_{i=1}^n [(y_i - \bar{y})^2]}} \quad (2.6)$$

Em que  $\bar{x}$  representa a média dos valores ( $x_i$ ) medidos experimentalmente e  $\bar{y}$  representa a media dos valores ( $y_i$ ) previstos pelo programa. O coeficiente de Pearson pode assumir valores entre -1 e +1. Valores positivos correspondem a evoluções no mesmo sentido, enquanto que valores negativos correspondem a evoluções em sentidos contrários. Nos casos em estudo,  $r = +1$  seria a situação ideal, significando uma evolução de resultados paralela. Para valores de  $r = -1$  verifica-se uma divergência completa dos resultados em termos de evolução temporal.

Neste trabalho adotou-se a escala de correlação ajustada proposta por (Anjo, 2015):  $r < 0,0 \rightarrow$  divergência;  $0,0 \leq r < 0,20 \rightarrow$  não existe correlação;  $0,20 \leq r < 0,40 \rightarrow$  correlação muito fraca;  $0,40 \leq r < 0,60 \rightarrow$  fraca;  $0,60 \leq r < 0,80 \rightarrow$  moderada;  $0,80 \leq r < 0,90 \rightarrow$  forte;  $0,90 \leq r < 0,95 \rightarrow$  muito forte; e  $0,95 \leq r < 1,0 \rightarrow$  excelente.

### **2.3.2. Validação do modelo de termorregulação em situações variadas**

Embora nunca envolvendo situações da prática desportiva, desde que ficou operacional o programa *HuTheReg* tem vindo a ser testado e validado em diversas situações, estando os resultados destes testes devidamente relatados em, por exemplo, Raimundo e Figueiredo (2009), Pereira (2014), Raimundo *et al.* (2015) e Anjo (2015).

Os testes e as validações do programa feitas por (Raimundo e Figueiredo, 2009), consistiram em avaliar as capacidades do programa em prever o comportamento termofisiológico de bombeiros em situações de combate a incêndios de alta intensidade. Na Figura 2.2, é possível verificar que o programa tem uma boa capacidade de previsão para ambientes térmicos muito quentes, após uma hora de exposição com baixo nível de atividade (0,8 met) e baixa proteção de vestuário (0,1 clo).

Na Figura 2.3 apresenta-se uma comparação entre resultados experimentais e simulados para mudanças súbitas de temperatura ambiente (43°C para 17°C e de volta a 43°C), também para baixo nível de atividade (1.0 met) e baixa proteção a nível de vestuário (0.1 clo).

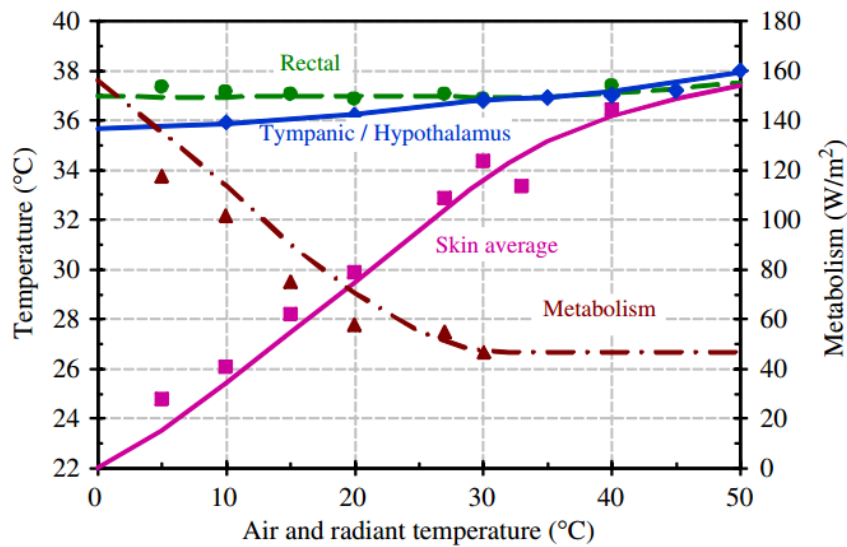


Figura 2.2 - Comparação entre resultados experimentais (pontos) e simulados (linhas) para temperaturas retal, timpânica(exp.)/hipotálamo (calc.) e média da pele, calor produzido pelo metabolismo, para uma 1h exposição com  $T_{ar}=T_{mr}$ ,  $v_{ar}=0,2$  m/s,  $HR=50\%$ ,  $I_{cl}=0,1$  clo e  $Act=0,8$  met (Raimundo e Figueiredo, 2009).

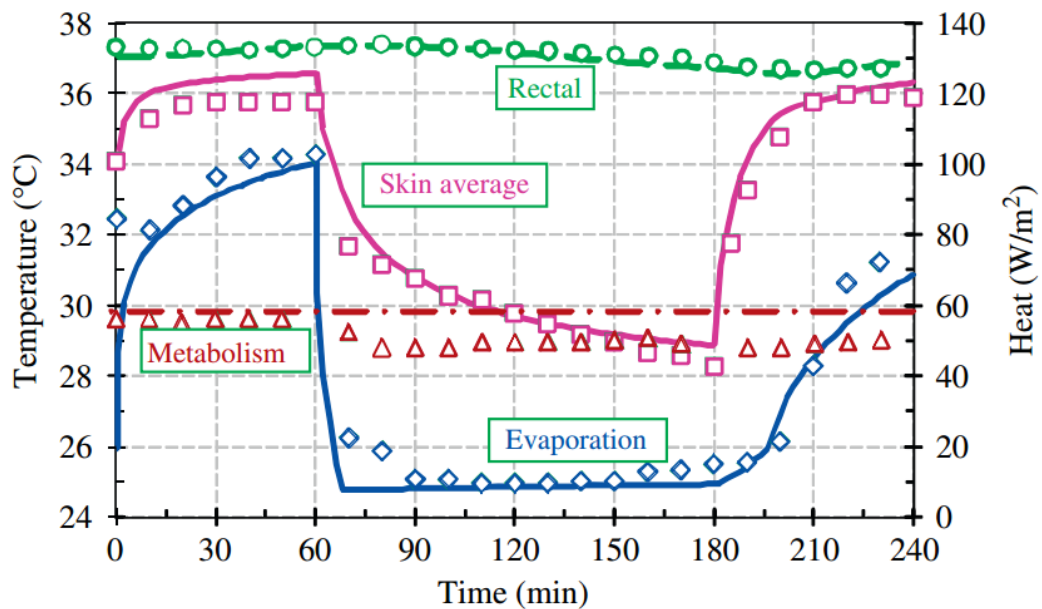
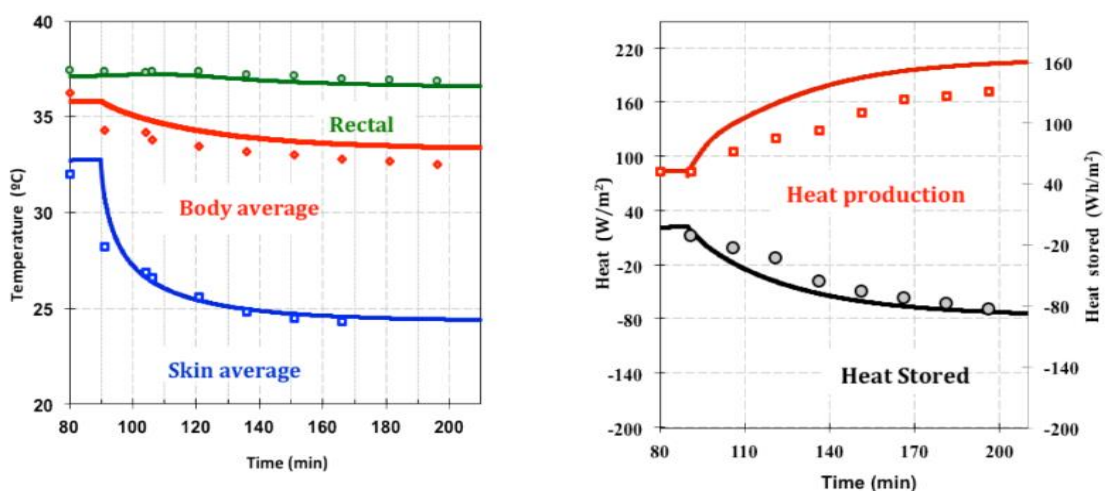


Figura 2.3 - Comparação entre resultados experimentais (pontos) e simulados (linhas) para temperaturas retal e média da pele, calor produzido pelo metabolismo, calor perdido por evaporação, para mudanças súbitas de temperatura de 43°C para 17°C e de volta para 43°C, com  $T_{ar}=T_{mr}$ ,  $v_{ar}=0,2$  m/s,  $HR=30\%$ ,  $I_{cl}=0,1$  clo e  $Act=0,1$  met (Raimundo e Figueiredo, 2009).

Os dados experimentais apresentados para a Figura 2.2 resultam de uma hora de exposição de indivíduos semi-nus, sentados, a temperaturas desde 5°C a 50°C. Para o caso da Figura 2.3, 3 homens foram expostos a 4 fases, 1 h a uma temperatura de 43°C, 2 h a 17°C e mais 1 h a 43°C. Em ambos os casos se verifica uma boa relação entre os resultados experimentais.

Em seguida apresenta-se uma validação para ambientes moderados a frios realizada por Pereira (2014).



**Figura 2.4 - Comparação entre valores experimentais (pontos) e valores simulados (linhas) para as temperaturas retal, corpo e da pele, calor produzido e armazenado por indivíduos nus ao passar de um ambiente neutro para um ambiente muito frio. (Pereira, 2014).**

É possível verificar que os resultados são bastante semelhantes e, mesmo não sendo totalmente coincidentes, seguem sempre a mesma tendência.

Por sua vez, Anjo (2015) fez algumas validações aplicadas ao caso de bombeiros, mas com o objetivo de validar o programa para aplicar técnicas de melhoria do comportamento termofisiológico dos mesmos. Em seguida apresentam-se diversos gráficos para as técnicas de arrefecimento estudadas, respetivamente, para arrefecimento através da imersão das mãos e antebraços em água (Figura 2.5), arrefecimento com recurso a coletes de gelo (Figura 2.6) e arrefecimento corporal através de ventiladores (Figura 2.7).

Em todos os casos apresentados, existe uma boa relação entre os dados experimentais e os dados simulados pelo programa, à exceção da temperatura da pele, defendendo a autora que o afastamento dos valores se deve a cinco motivos: (i) por não se conhecer com precisão suficiente todos os detalhes relativos às fases a que os indivíduos são submetidos ao longo dos protocolos, nomeadamente a falta de informação relativa ao vestuário que usam;

(ii) diferentes modos de determinar a temperatura média da pele, pois enquanto o programa faz uma média ponderada (pela área de pele) das temperaturas nos 22 segmentos em que supostamente divide o corpo humano, nos ensaios experimentais  $T_{sk}$  é obtida por média aritmética das medições em determinados pontos da pele; (iii) falta de capacidade de previsão do programa; (iv) erros de medição; e (v) “indivíduo virtual” e “pessoas reais” com estados termofisiológicos diferentes no início dos ensaios. Apesar de se verificarem algumas diferenças na temperatura da pele ao simular os casos com o programa, é notável a capacidade do programa em simular casos experimentais.

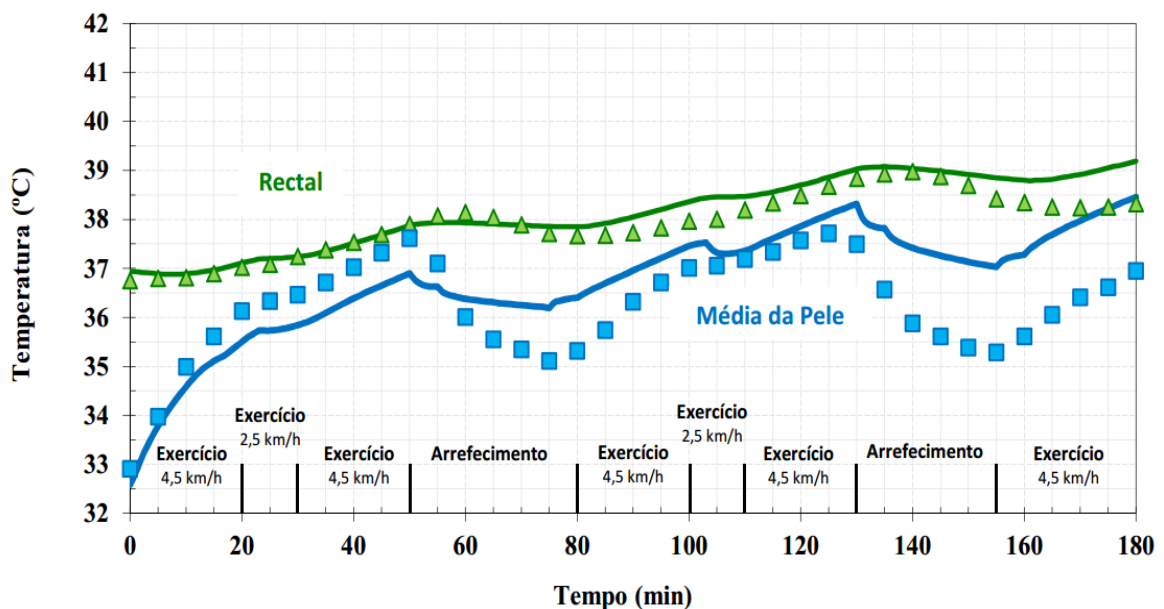


Figura 2.5 - Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para as temperaturas  $T_{re}$  e  $T_{sk}$  no caso 2, em que o arrefecimento é efetuado por imersão das mãos e dos antebraços em água a 17,4°C (Anjo, 2015).

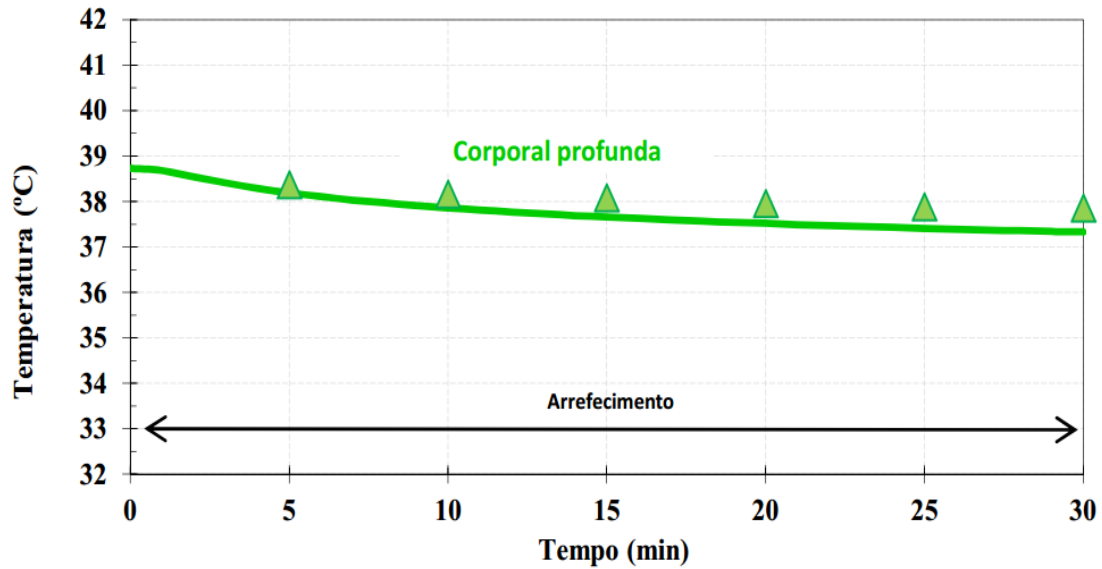


Figura 2.6 - Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a  $T_p$  no caso 5, em que na fase de recuperação os indivíduos vestiam coletes de gelo como técnica de arrefecimento corporal (Anjo, 2015).

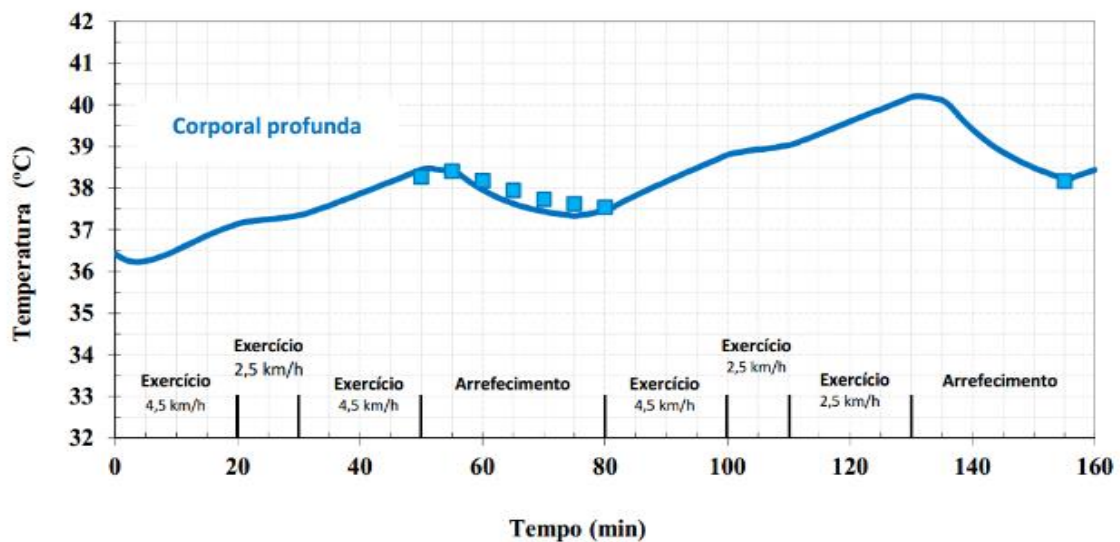


Figura 2.7 - Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a  $T_p$  no caso 6, em que a recuperação é efetuada com recurso a ventiladores (Anjo, 2015).

### 2.3.3. Validação em situações de desporto

De entre uma vasta pesquisa de artigos científicos, foram selecionados 3 para efetuar a validação do modelo, para as técnicas de arrefecimento com recurso a colete de gelo (Lopez *et al.*, 2008), pré-arrefecimento (Lee & Haymes, 1995) e arrefecimento através da ingestão de bebida fria (Mündel *et al.*, 2006). Considerar-se-á também a validação feita pela autora (Anjo, 2015) relativa à técnica de arrefecimento por imersão das mãos e antebraços em água fria, devido à falta de bibliografia científica para esta técnica (apenas é usada para arrefecimento após exercício, validação essa já efetuada pela autora referida anteriormente).

Para cada um dos casos, foi considerada uma “fase de uniformização”, isto é, uma fase implementada de forma a que o indivíduo "virtual" parta do mesmo estado termofisiológico que as pessoas reais participantes nos ensaios experimentais. Sem a fase anterior, os resultados previstos pelo programa não podiam ser comparados com os obtidos pela via experimental, devido à diferença entre o estado termofisiológico inicial da "pessoa virtual" e o médio das "pessoas reais" participantes no estudo. Devido à informação incompleta relativa à fase de uniformização na maioria da bibliografia científica considerou-se, para o presente trabalho, a seguinte fase: duração de 60 minutos; atividade metabólica baixa ( $M = 0,8$  met); pessoa integralmente nua ( $I_{cl} = 0$  clo) e sentada; temperatura ambiente envolvente ( $T_{ar}$ ) e média radiante ( $T_{mr}$ ) de  $29^{\circ}\text{C}$ ; velocidade do ar  $v_{ar} = 0,1$  m/s; humidade relativa  $HR = 50\%$  e sem radiação incidente. Para todos os casos simulados, o vestuário foi sempre o mesmo (T-shirt, slips, calções, meias e sapatilhas), tendo sido pesados numa balança de precisão e comparados com os valores tabelados na norma ISO 9920 (2007). Para os restantes dados utilizaram-se como referência os valores apresentados em Raimundo & Figueiredo (2009):  $cp_{clo} = 1000$  J/(kg. $^{\circ}\text{C}$ ),  $F_{pcl} = 1$  para segmentos nus,  $F_{pcl} = 0$  para segmentos vestidos com roupa impermeável,  $F_{pcl} = 0,34$  para roupa “normal” (t-shirt, calções), um valor de emissividade de  $\varepsilon = 0,90$  para a face exterior da roupa e  $\varepsilon = 0,93$  para a pele humana.

Numa primeira fase, foi feita a validação das técnicas de arrefecimento em situações de desporto, comparando valores experimentais de artigos científicos com os valores simulados pelo programa, começando nesse momento a surgir as primeiras dificuldades. Um atleta de alta competição está sujeito a esforços que um indivíduo não treinado consideraria sobrehumanos. Estes atletas já estão habituados a estes esforços, dado

que, com a repetição, o seu corpo vai sofrendo transformações, num processo de adaptação. Em termos simplistas, pode-se fazer uma analogia com a musculação, em que o indivíduo causa micro-roturas nos músculos, obrigando-os a adaptar-se, o que resulta num aumento de força e num menor gasto de energia para depois realizar a mesma tarefa. O programa não tem isto em conta, limitando-se a colocar o indivíduo (destreinado) a realizar um esforço que só um indivíduo treinado conseguiria realizar. Como consequência, o indivíduo a realizar o exercício atinge temperaturas extremas, não coincidentes com a bibliografia científica, invalidando o programa como ferramenta de simulação.

Para compensar esta falha, fez-se uma aproximação grosseira de forma a compensar o valor de atividade metabólica. Aconselha-se a reduzir em cerca de 20% o nível de atividade metabólica para valores entre 5 e 7 e cerca de 35% para valores muito elevados (acima de 7) e/ou cujo valor de  $VO_{2max}$  seja superior a  $50 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ .

Recorrendo à norma ISO 8996, o cálculo de conversão do volume de oxigénio máximo consumido ( $VO_{2max}$ ) para o nível de atividade metabólica ( $M$ ) foi obtido através da seguinte equação:

$$M = EE \times VO_2 \times \frac{1}{A_{Du}} \quad (2.7)$$

em que  $EE$  representa o equivalente energético ( $= 5,68 \text{ W.h/l O}_2$ ) e  $A_{Du}$  representa a área de superfície do corpo segundo *Dubois*.

Para o caso 3, a conversão da frequência cardíaca para o nível de atividade metabólica foi feita com recurso à mesma norma, de acordo com a seguinte equação:

$$M = 4 \times BC - 255 \quad (2.8)$$

Em que  $BC$  representa o número de batimentos cardíacos por minuto.

Expõem-se em seguida os diferentes casos para simulação.

- **Caso 1 – Pré-arrefecimento corporal**

Neste estudo, realizado por Lee & Haymes (1995), o objetivo foi avaliar a resposta termofisiológica e diferença de performance através da aplicação da técnica de pré-arrefecimento. Participaram 14 corredores (homens com  $27 \pm 7$  anos, com uma altura  $h = 1,81 \pm 0,06$  m, uma massa corporal  $w = 70 \pm 5$  kg e uma média de percentagens de gordura corporal de  $B_f = 15,6 \pm 2,9\%$ ), cujo vestuário tinha um valor  $I_{cl,global} = 0,29$  clo (t-shirt, slips,



calções, meias e sapatilhas). O teste de esforço foi feito numa passadeira rolante, sob condições relativamente normais ( $T_{ar} = T_{mr} = 24^{\circ}\text{C}$ ;  $HR = 51\text{-}52\%$  e  $v_{ar} = 0.3\text{ m/s}$ ).

O protocolo foi composto por 4 fases, sendo a primeira a de uniformização termofisiológica (referido anteriormente), seguida de uma fase de pré-arrefecimento, fase de transição e por último uma fase de exercício até à exaustão.

A fase de pré-arrefecimento consistiu em colocar os indivíduos sentados numa cadeira, em repouso, numa câmara de controlo, a uma temperatura de  $T_{ar} = T_{mr} = 5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  e  $RH = 68 \pm 12\%$ , durante 30 minutos. O grupo de controlo foi sujeito a uma temperatura de  $T_{ar} = T_{mr} = 24^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  e  $RH = 53 \pm 8\%$ , durante 33 minutos.

O período de transição teve uma duração de  $16,1 \pm 5,3\text{ min}$ , que serviu para a preparar os corredores para a fase final (exercício). Foi considerado  $M = 1,2\text{ met}$  para esta fase de transição, o que corresponde a uma atividade bastante baixa, com pouca movimentação. O período de transição para o grupo de controlo teve uma duração de 10 minutos).

Na fase final (exercício), os participantes correram numa passadeira rolante a  $82\%$  do  $VO_{2max}$  a uma temperatura de  $T_{ar} = T_{mr} = 24^{\circ}\text{C}$  e  $HR = 51\%$  até à exaustão, tendo-se calculado um valor  $M = 10\text{ met}$ , a partir do valor de  $VO_2$  (com  $VO_2 = 0,82VO_{2max}$ ) de acordo com a norma ISO 8996 (1990). Como foi referido anteriormente, foi necessário fazer um ajuste devido ao valor muito elevado de atividade metabólica para uma pessoa destreinada, fazendo-se uma estimativa grosseira, resultando num valor de  $M_{cor} = 6,5\text{ met}$  ( $65\%$  do valor de  $M$  calculado a partir do valor de  $VO_2$ ).

É importante referir que ao contrário de outros estudos anteriores, este estudo mostrou resultados bastante bons, resultando numa melhor performance para os corredores pré-arrefecidos (50 minutos de corrida até exaustão para os corredores pré-arrefecidos e 35 minutos para o grupo de controlo). Os autores referem que tal se deve ao fato de terem implementado um período de transição, eliminando assim potenciais efeitos negativos devido à vasoconstrição (nos estudos anteriores não havia período de transição, tendo a vasoconstrição comprometido os resultados).

#### • **Caso 2 – Arrefecimento por ingestão de bebidas frias**

O objetivo deste estudo, realizado por Mundel *et al.* (2006), era verificar o impacto que uma bebida fria tem na performance de ciclistas num ambiente quente e seco. Participaram 8

ciclistas (homens com  $26 \pm 7$  anos, com uma altura  $h = 1,82 \pm 0,04$  m, uma massa corporal  $w = 81 \pm 13$  kg e uma média de percentagens de gordura corporal desconhecida, tendo-se arbitrado  $B_f = 15\%$ ), cujo vestuário tinha um valor  $I_{cl,global} = 0,29$  clo (t-shirt, slíps, calções, meias e sapatilhas). O teste de esforço foi feito numa bicicleta estática, sob condições ambientais quentes ( $T_{ar} = T_{mr} = 33,9 \pm 0,2^\circ\text{C}$ ,  $HR = 27,9 \pm 0,7 \%$  e  $v_{ar} = 0,5$  m/s devido a uma ventoinha que fazia circular o ar), numa câmara de controlo.

O protocolo foi composto por 6 fases, sendo a primeira a de uniformização termofisiológica (referida anteriormente), seguida de uma fase de transição e uma fase de exercício que teve que ser dividida em 4 fases iguais devido ao fato de os ciclistas ingerirem 300 ml de fluido a cada 15 minutos (o programa não tem modo de implementar a ingestão de bebida ou alimentos a cada período de tempo numa só fase, necessita de criar uma nova fase de cada vez que há ingestão de alimentos). Para o grupo de controlo a única diferença foi a temperatura da água ( $T_{\text{água}} = 19,4^\circ\text{C}$ ). O tempo total do protocolo foi de 160 minutos (incluído fase de uniformização).

A primeira fase (uniformização) usada foi igual ao caso anterior pois não existe descrição pormenorizada sobre a mesma.

Na segunda fase os ciclistas estão a ser preparados enquanto lhes são medidas temperaturas. Mantêm-se sentados durante 40 minutos, à qual se atribuiu um valor  $M = 1,0$  met. Todos os participantes ingeriram nesta fase um volume de água de 8ml por cada kg de massa corporal. No artigo de Mundel *et al.* (2006) não é indicada a temperatura desta água, tendo sido arbitrado uma temperatura de  $24^\circ\text{C}$ .

Considerou-se uma terceira fase como uma pequena fase de transição para a fase final, com uma duração de apenas 2 minutos e um valor  $M = 1,2$  met (dados arbitrados devido à falta de informação).

As últimas 4 fases, correspondentes à atividade física, são iguais. Foram divididas em períodos de 15 minutos, sendo ingeridos 300ml de água a uma temperatura de  $3,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$  a cada um desses períodos (o grupo de controlo ingeriu água a uma temperatura de  $19,4^\circ\text{C}$ ). Os ciclistas fizeram o teste numa câmara de teste a uma temperatura de  $T_{mr} = 33,9 \pm 0,2^\circ\text{C}$ ,  $HR = 27,9 \pm 0,7 \%$  e  $v_{ar} = 0,5$  m/s, mantendo um nível de esforço correspondente a 69% do  $VO_{2max}$  ( $= 54 \pm 5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ), tendo sido calculado um valor  $M = 8,5$  met recorrendo à norma ISO 8996 (1990). Tal como no caso anterior, ajustou-se esse valor de atividade metabólica para  $M_{cor} = 5,5$  met (correspondente a 65% do valor original).

- **Caso 3 – Arrefecimento por uso de colete de gelo**

Lopez *et al.* (2008) realizaram um estudo que tinha como objetivo avaliar a eficácia dum colete de gelo como método de arrefecimento e recuperação após exercício. Não foi considerado o uso do colete durante a fase de exercício devido à difícil aplicabilidade em casos reais (proibição do uso de coletes na prática desportiva). Os participantes eram homens ( $25,6 \pm 1,6$  anos, com uma altura não definida, tendo sido arbitrado  $h = 1,8$  m, uma massa corporal  $w = 80,3 \pm 13,7$  kg e uma média de percentagens de gordura corporal desconhecida, tendo-se arbitrado  $B_f = 15\%$ ), cujo vestuário tinha um valor  $I_{cl,global} = 0,29$  clo (t-shirt, slíps, calções, meias e sapatilhas) ou  $I_{cl,global} = 0,0445$  clo (colete, t-shirt, slíps, calções, meias e sapatilhas). O colete tinha uma massa de 1,7 kg. O teste de esforço foi feito numa passadeira rolante, no exterior, sob condições ambientais quentes ( $T_{mr} = 33,1 \pm 3,1^\circ\text{C}$ ,  $HR = 55,1 \pm 8,9$  % e  $v_{ar} \sim 0,6$  m/s), começando com 5 minutos de aquecimento a 40% do valor máximo de batimentos cardíacos previstos para a idade do atleta (correspondente a  $BC = 131 \pm 27$  bpm), tendo sido posteriormente aumentados para 60% ( $BC = 147 \pm 5,9$  bpm). Tinham também 60 segundos de descanso a cada 15 minutos de exercício. Após realizarem a fase de exercício vestiram um colete de gelo por cima de uma t-shirt seca (o grupo de controlo não usou o colete e ficou com as roupas do exercício) e foram transferidos para uma câmara a uma temperatura de  $T_{mr} = 26,6 \pm 2,2^\circ\text{C}$  e  $HR = 55,4 \pm 5,8$  %. Em termos numéricos a radiação solar foi representada por uma radiação incidente de  $500 \text{ W/m}^2$  vinda de cima,  $100 \text{ W/m}^2$  vinda de baixo e  $200 \text{ W/m}^2$  para as restantes direções. O protocolo consistiu em 11 fases, das quais uma de uniformização como nos casos anteriores, seguida da fase de aquecimento de exercício, passando para a fase de exercício com a intensidade desejada, fase de descanso e novamente fase de exercício, repetindo a fase de descanso e exercício até atingir o tempo final do protocolo. O protocolo teve uma duração total de 154 minutos (incluindo fase de uniformização).

A 1ª fase, de uniformização, foi aplicada de igual forma aos casos anteriores.

A 2ª fase consistiu em 5 minutos de exercício a 40% do valor de batimentos cardíacos calculados para a idade dos indivíduos (= 131 bpm), tendo sido calculada uma intensidade de  $M = 4,6$  met, através da norma ISO 8996 (1990).

A 3ª fase foi composta por 10 minutos de exercício, desta vez com a intensidade aumentada para 60% do valor de batimentos cardíacos calculados para a idade dos

indivíduos (= 147 bpm), com uma intensidade de  $M = 5,6$  met, calculada também com recurso à norma ISO 8996 (1990).

A 4<sup>a</sup>, 6<sup>a</sup>, 8<sup>a</sup> e 10<sup>a</sup> fases corresponderam às fases de descanso, com uma duração de 1 minutos, com uma intensidade  $M = 1,0$  met.

A 5<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup> e 9<sup>a</sup> fases corresponderam à fase de exercício, com uma duração de 15 minutos cada, a uma intensidade de  $M = 5,6$  met (calculada anteriormente para a fase 3).

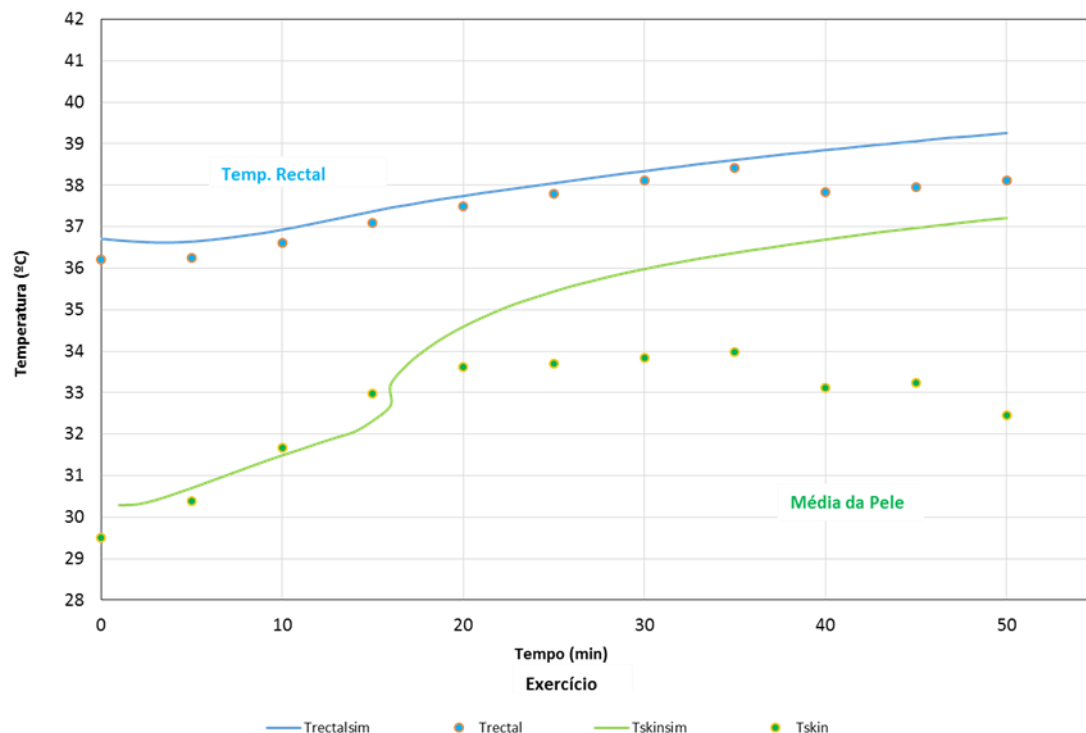
Por último, na 11<sup>a</sup> fase os indivíduos colocaram o colete de gelo (exceto os que pertenciam ao grupo de controlo, que ficaram com as roupas do exercício) e permaneceram em repouso com uma intensidade de  $M = 1,0$  met.

Ao contrário dos casos anteriores, a estimativa da atividade metabólica foi feita a partir do valor de batimentos cardíacos, que é um método bastante incerto (não foi dado o valor de  $VO_{2max}$ , sendo assim impossível calcular o valor de atividade metabólica através deste), tendo-se optado por não fazer ajuste neste caso.

- **Resultados das simulações**

- **Caso 1 – Pré-arrefecimento corporal**

Na Figura 2.8 apresentam-se os resultados para a temperatura retal ( $T_{re}$ ) e para a temperatura média da pele ( $T_{sk}$ ) (devido à falta de informação sobre as restantes temperaturas), comparados com os valores experimentais obtidos por Lee & Haymes (1995) para a situação de pré-arrefecimento corporal.



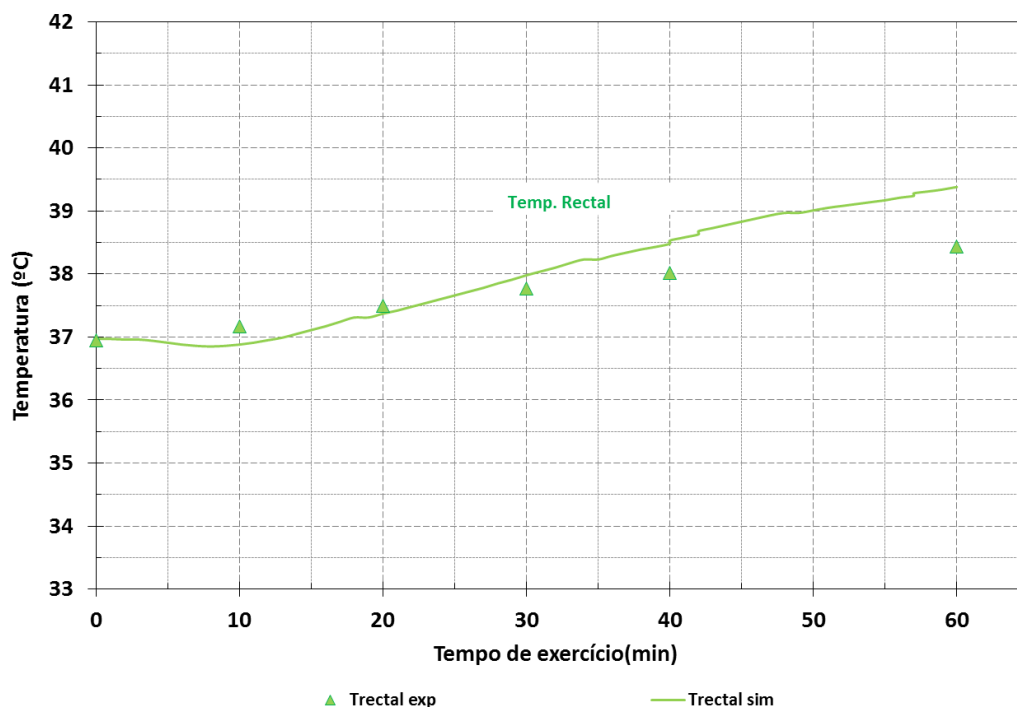
**Figura 2.8 - Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para as temperaturas  $T_{re}$  e  $T_{sk}$  no caso 1, em que se efetuou um pré-arrefecimento com ar a 5°C durante 30 minutos.**

Pela análise dos valores representados na Figura 2.8 constata-se que o programa consegue simular com boa precisão a temperatura retal, quando comparado com os valores experimentais. A descida que se verifica nos últimos 15 minutos (para ambas as temperaturas) deve-se ao fato de só restar um indivíduo em atividade, indivíduo este que tinha uma temperatura retal mais baixa (os resultados experimentais são apresentados como a média dos indivíduos em atividade, daí resultar numa descida abrupta de temperatura). Verifica-se também que, apesar de seguir a tendência, existe um desfasamento dos valores simulados e dos experimentais para a temperatura da pele. Esta situação foi já referida e justificada anteriormente, o que não invalida a capacidade de simulação do programa no presente caso.

- **Caso 2 – Arrefecimento por ingestão de bebidas frias**

Na Figura 2.9 apresentam-se os resultados previstos pelo programa apenas para a temperatura retal ( $T_{re}$ ) (devido à falta de informação sobre as restantes temperaturas),

comparados com os valores experimentais obtidos por Mundel *et al.* (2006) para a situação de arrefecimento corporal por ingestão de água fria.



**Figura 2.9 - Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para as temperaturas  $T_{re}$  no caso 2, em que os indivíduos ingeriram água a uma temperatura de 3,6°C a cada 15 minutos.**

Similarmente ao caso anterior, foi feito um ajuste do nível metabólico de  $M = 8$  met para  $M_{cor}$  5.5 met (65% do valor calculado anteriormente), de forma a simular o esforço equivalente num indivíduo destreinado. Os resultados experimentais e os resultados simulados obtidos estão bastante próximos, apesar de se verificar que, à medida que se aproxima a etapa final do exercício, o aumento da temperatura retal prevista pelo programa não é acompanhado pelos valores experimentais. Pode-se concluir que o programa teve bastante sucesso na simulação do caso 2 após o ajuste de atividade metabólica.

- **Caso 3 – Arrefecimento por uso de colete de gelo**

Na Figura 2.10 apresentam-se os resultados previstos pelo programa para as temperaturas retal ( $T_{re}$ ) e para a temperatura média da pele ( $T_{sk}$ ) (devido à falta de informação sobre as restantes temperaturas), comparados com os valores experimentais obtidos por Lopez *et al.* (2008) para a situação de arrefecimento corporal por recurso a um colete de gelo.

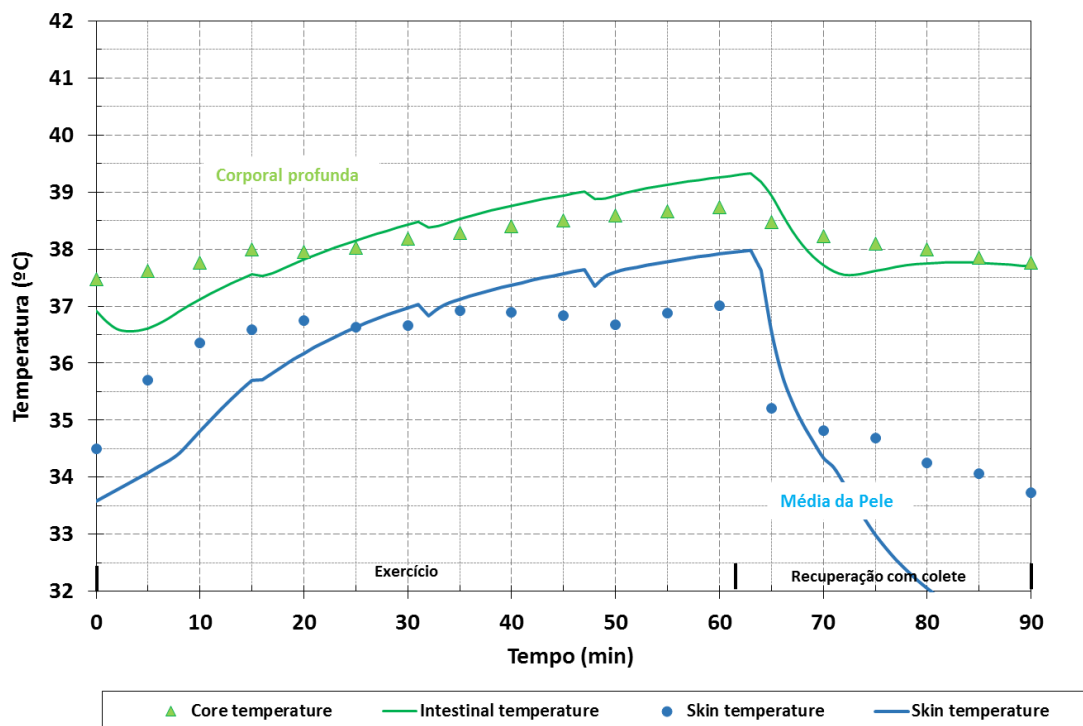


Figura 2.10 - Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para as temperaturas  $T_{re}$  e  $T_{sk}$  no caso 3, em que os indivíduos usaram um colete de gelo para recuperação após exercício.

Tal como nos casos anteriores, verifica-se uma boa relação entre os valores experimentais e os valores simulados. Mais uma vez verifica-se algum desfasamento entre os valores medidos e valores simulados para a temperatura da pele. Apesar desta disparidade (já explicada anteriormente), o programa demonstra muito boa capacidade de simulação no caso 3.

- **Análise estatística dos casos**

Apresenta-se na Tabela 2.1 o resumo da comparação estatística dos resultados experimentais e os resultados simulados obtidos. Os casos foram analisados através das funções média aritmética das diferenças relativas ( $\delta$ ) e respetivo desvio padrão ( $\sigma$ ), desvio quadrático médio ( $DQM$ ) e por último, também a mais importante, o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ). Observando a Tabela 2.1, verifica-se que o  $r$  indica que, no caso da temperatura retal, a correlação é muito forte para todos os casos analisados. Para o caso 1, o valor da temperatura da pele ( $T_{sk}$ ) apresenta um valor de  $r$  não tão bom como o esperado, mas ainda assim não é uma má correlação. O caso 3, para além dos bons resultados de correlação para a temperatura retal, obteve também uma correlação muito forte para a temperatura da pele.

Analisando as restantes variáveis, é possível verificar que os valores menos favoráveis ocorrem no caso 1 e 2, para o caso da temperatura da pele, notando-se bastante dispersão entre as médias relativas. Ainda no caso 1, é possível verificar uma diferença significativa para a temperatura da pele, com os valores simulados a serem superiores aos valores experimentais. Esta situação era espectável, devido às maiores diferenças se encontrarem nos valores da temperatura da pele, pelos motivos já referidos anteriormente.

**Tabela 2.1. Análise comparativa dos resultados obtidos.**

<b>Caso</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Unid.</b>	<b><math>\delta</math></b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b><i>DQM</i></b>	<b>Pearson (<i>r</i>)</b>
<b>1</b>	Retal	°C	-0.516	0.375	0.189	0.924
	Pele	°C	-1.844	1.652	0.731	0.806
<b>2</b>	Retal	°C	-0.362	0.463	0.227	0.991
<b>3</b>	Retal	°C	0.049	0.457	0.103	0.968
	Pele	°C	0.503	1.298	0.312	0.922

As diferenças detetadas entre os valores experimentais e os previstos pelo programa não põem em causa a sua capacidade de previsão, pois os protocolos experimentais presentes na bibliografia científica omitem quase sempre detalhes dos ensaios realizados. Apenas tendo todos os dados que o programa pede é que seria possível realizar uma simulação ideal.

Apesar de terem sido encontradas algumas dificuldades com a variável do nível de atividade metabólico, pode concluir-se que o programa *HuTheReg* demonstrou ter uma boa capacidade de previsão do comportamento termofisiológico do corpo humano durante atividades desportivas.



### 3. CASOS EM ESTUDO

Existem inúmeros desportos de alta competição que poderiam beneficiar com uma melhoria do comportamento termofisiológico do atleta. Para o presente trabalho foram escolhidos dois desportos, Futebol de onze e Basquetebol. Em ambos os casos o vestuário considerado foi formado por: t-shirt, calções, cuecas/boxers, meias e sapatilhas. Para este vestuário, foi usado um valor de  $F_{pcl} = 0,34$  para o índice de permeabilidade ao vapor para todos os segmentos do corpo não nus, à exceção dos pés, em que foi considerado  $F_{pcl} = 0,20$  (por consulta da norma ISO 9920 (2007)). O valor de emissividade usado para os segmentos nus foi de  $\varepsilon = 0,93$  e os não nus  $\varepsilon = 0,90$  (Raimundo e Figueiredo, 2009). Os valores para o isolamento intrínseco usados para cada peça do equipamento foram definidos por consulta da norma ISO 9920 (2007).

#### 3.1. Técnicas de Arrefecimento a Testar

Neste capítulo pretende-se descrever as técnicas de arrefecimento corporal simuladas para cada desporto, assim como os dados a utilizar. Estas técnicas serão posteriormente analisadas individualmente e comparadas umas com as outras, entre cada desporto, de forma a poder tirar conclusões sobre as mesmas.

##### 3.1.1. Arrefecimento por imersão das mãos e antebraços em água fria - AIMA

Esta técnica de arrefecimento consiste em mergulhar partes do corpo, neste caso mãos e antebraços, em água fria ( $T_{\text{água}} = 20^{\circ}\text{C}$ ). É considerado um dos métodos mais eficaz de arrefecimento. No entanto, de acordo com Abreu (2013), temperaturas abaixo de  $20^{\circ}\text{C}$  poderão comprometer a termorregulação do indivíduo devido à ocorrência de vasoconstrição. Tendo isto em conta, a água encontrava-se a uma temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  para ambos os desportos, utilizando os intervalos de cada desporto (intervalo de 15 minutos para ambos os casos), tendo sido aplicada a técnica nos primeiros 10 minutos, seguidos de 5 minutos de repouso numa sala com  $T_{ar} = 23^{\circ}\text{C}$  e  $HR = 50\%$ , para evitar a vasoconstrição que

se poderia verificar ao iniciar a atividade física logo após imersão em água. Na Tabela 3.1 é possível consultar os detalhes resumidos relativos à fase de imersão das mãos e antebraços em água:

**Tabela 3.3.1. Resumo da Fase de imersão em água a 20°C**

Fase de Imersão em água										
Segmentos do corpo	Fluido envolvente	Isolamento Vestuário [clo]	Eficiência da permeabilidade de ao vapor de vestuário	Emissividade da Superfície Externa (pele ou Vestuário)	Massa do vestuário [kg]	Calor específico vestuário [J/kg.°C]	Temperatura Ambiente Envolvente [°C]	Humidade relativa [%]	Velocidade Fluido Envolvente [m/s]	Temperatura média Radiante [°C]
Face	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	50	0.3	23.0
Escalpe	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	50	0.3	23.0
Pescoço	Ar	0.000	1.000	0.900	0.000	-	23.0	50	0.3	23.0
Peito	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	23.0	50	0.3	23.0
Abdómen	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	23.0	50	0.3	23.0
Parte Superior das Costas	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	23.0	50	0.3	23.0
Parte Inferior das Costas	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	23.0	50	0.3	23.0
Pélviz	Ar	0.020	0.340	0.900	0.123	1000	23.0	50	0.3	23.0
Ombro Esquerdo	Ar	0.010	0.340	0.900	0.023	1000	23.0	50	0.3	23.0
Ombro Direito	Ar	0.010	0.340	0.900	0.023	1000	23.0	50	0.3	23.0
Braço Esquerdo	Ar	0.000	1.000	0.900	0.020	1000	23.0	50	0.3	23.0
Braço Direito	Ar	0.000	1.000	0.900	0.020	1000	23.0	50	0.3	23.0
Antebraço Esquerdo	Água	0.000	1.000	0.930	0.000	-	20.0	100	0.1	20.0
Antebraço Direito	Água	0.000	1.000	0.930	0.000	-	20.0	100	0.1	20.0
Mão Esquerda	Água	0.000	1.000	0.930	0.000	-	20.0	100	0.1	20.0
Mão Direita	Água	0.000	1.000	0.930	0.000	-	20.0	100	0.1	20.0
Coxa Esquerda	Ar	0.025	0.340	0.900	0.080	1000	23.0	50	0.3	23.0
Coxa Direita	Ar	0.025	0.340	0.900	0.080	1000	23.0	50	0.3	23.0
Perna Esquerda	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	50	0.3	23.0
Perna Direita	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	50	0.3	23.0
Pé Esquerdo	Ar	0.060	0.200	0.900	0.390	1000	23.0	50	0.3	23.0
Pé Direito	Ar	0.060	0.200	0.900	0.390	1000	23.0	50	0.3	23.0

### 3.1.2. Pré-arrefecimento em ambiente frio - PAAF

A técnica de pré-arrefecimento em ambiente frio consiste em arrefecer os indivíduos previamente, permitindo-lhes iniciar a atividade física num estado térmico alterado (mais frio), de modo a aguentarem o exercício mais tempo antes de atingirem uma temperatura desfavorável. Esta técnica foi aplicada durante 30 minutos, com o atleta virtual em repouso numa sala com o ar a uma temperatura  $T_{ar} = 10^{\circ}\text{C}$  e a uma humidade relativa  $HR = 70\%$ , antes de iniciar o exercício. Após o pré-arrefecimento, os indivíduos repousaram durante 5 minutos numa sala com  $T_{ar} = 23^{\circ}\text{C}$  e  $HR = 50\%$ , de forma a evitar a vasoconstrição (tal como no caso anterior). Na Tabela 3.2 é possível consultar de modo resumido os dados relativos à fase de pré-arrefecimento implementada:

**Tabela 3.3.2. Resumo da Fase Pré-arrefecimento a 10°C**

Pré-arrefecimento										
Segmentos do corpo	Fluido envolvente	Isolamento Vestuário [clo]	Eficiência da permeabilidade e ao vapor de vestuário	Emissividade da Superfície Externa (pele ou Vestuário)	Massa do vestuário [kg]	Calor específico vestuário [J/kg.°C]	Temperatura Ambiente Envolvente [°C]	Humidade relativa [%]	Velocidade Fluido Envolvente [m/s]	Temperatura média Radiante [°C]
Head front (face) :	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	10.0	70	0.3	10.0
Head back (scalp) :	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	10.0	70	0.3	10.0
Neck :	Ar	0.000	1.000	0.900	0.000	-	10.0	70	0.3	10.0
Chest :	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	10.0	70	0.3	10.0
Abdomen :	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	10.0	70	0.3	10.0
Back upper :	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	10.0	70	0.3	10.0
Back lower :	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	10.0	70	0.3	10.0
Pelvis :	Ar	0.020	0.340	0.900	0.123	1000	10.0	70	0.3	10.0
Should left :	Ar	0.010	0.340	0.900	0.023	1000	10.0	70	0.3	10.0
Should right :	Ar	0.010	0.340	0.900	0.023	1000	10.0	70	0.3	10.0
Arm left :	Ar	0.000	1.000	0.900	0.020	1000	10.0	70	0.3	10.0
Arm right :	Ar	0.000	1.000	0.900	0.020	1000	10.0	70	0.3	10.0
Forearm left :	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	10.0	70	0.3	10.0
Forearm right :	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	10.0	70	0.3	10.0
Hand left :	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	10.0	70	0.3	10.0
Hand right :	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	10.0	70	0.3	10.0
Thigh left :	Ar	0.025	0.340	0.900	0.080	1000	10.0	70	0.3	10.0
Thigh right :	Ar	0.025	0.340	0.900	0.080	1000	10.0	70	0.3	10.0
Leg left :	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	10.0	70	0.3	10.0
Leg right :	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	10.0	70	0.3	10.0
Foot left :	Ar	0.060	0.200	0.900	0.390	1000	10.0	70	0.3	10.0
Foot right :	Ar	0.060	0.200	0.900	0.390	1000	10.0	70	0.3	10.0

### 3.1.3. Arrefecimento com recurso a bebida fria - ABF

Esta técnica de arrefecimento corporal consiste na ingestão duma bebida fria (5°C), de modo a tentar atenuar aquecimento excessivo do corpo devido ao elevado nível metabólico promovido pelo exercício físico. Foi aplicada nos intervalos dos desportos, sendo um método rápido e fácil de implementar. Pode ser ingerida qualquer bebida, sendo normalmente recomendada uma bebida com hidratos de carbono. Por motivos de conforto, não foi ingerida bebida a uma temperatura inferior a 5°C.

## 3.2. Práticas Desportivas a Analisar

Devido à dificuldade em encontrar informação acerca das características físicas do basquetebolista e do futebolista, tentou-se arbitrar os valores da forma mais aproximada possível à realidade. Apresentam-se nas Tabelas 3.3 e 3.4 as características físicas consideradas nas simulações para o basquetebolista e para o futebolista, respetivamente.

De modo a assegurar que, no instante inicial de cada ensaio, o estado térmico do atleta virtual era o pretendido, considerou-se nas simulações a existência de uma fase que levasse os atletas a um estado de termoneutralidade. Esta fase foi considerada em ambos os desportos, apresentando-se na Tabela 3.5 a informação que foi utilizada na sua caracterização.

**Tabela 3.3 - Características físicas do basquetebolista**

<b>Características físicas do basquetebolista</b>	
Altura	1,90
Peso	85 kg
Gordura Corporal	10%
Nível de treino	50%
Frequência cardíaca basal	65 batidas/min
Pressão arterial sistólica basal	110 mmHg

**Tabela 3.4 - Características físicas do futebolista**

<b>Características físicas do futebolista</b>	
Altura	1,75
Peso	75 kg
Gordura Corporal	10%
Nível de treino	50%
Frequência cardíaca basal	65 batidas/min
Pressão arterial sistólica basal	110 mmHg

**Tabela 3.5 - Resumo da fase de estabilização térmica (neutra)**

Fase neutra										
Segmentos do corpo	Fluido envolvente	Isolamento Vestuário [clo]	Eficiência da permeabilidade de ao vapor de vestuário	Emissividade da Superfície Externa (pele ou Vestuário)	Massa do vestuário [kg]	Calor específico vestuário [J/kg.°C]	Temperatura Ambiente Envoltivo [°C]	Humidade relativa [%]	Velocidade Fluido Envoltivo [m/s]	Temperatura média Radiante [°C]
Face	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Escalpe	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Pescoço	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Peito	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Abdómen	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Parte Superior das Costas	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Parte Inferior das Costas	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Pélviz	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Ombro Esquerdo	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Ombro Direito	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Braço Esquerdo	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Braço Direito	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Antebraço Esquerdo	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Antebraço Direito	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Mão Esquerda	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Mão Direita	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Coxa Esquerda	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Coxa Direita	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Perna Esquerda	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Perna Direita	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Pé Esquerdo	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0
Pé Direito	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	29.0	50	0.1	29.0

### 3.2.1. Basquetebol

A implementação do desporto a simular no programa seguiu as etapas dum jogo de basquetebol, jogado num pavilhão coberto (a uma temperatura de 23°C e 90% de humidade relativa) composto por 4 partes de jogo com duração de 10 minutos, intercaladas com intervalos de 2 minutos, à exceção do intervalo intermédio, cuja duração é 15 minutos. Foi também considerada uma fase de aquecimento com duração de 5 minutos. Para uma melhor visualização, representam-se as fases simuladas pelo programa relativas a cada uma das técnicas de arrefecimento nos fluxogramas apresentados na Figura 3.1.

Em seguida apresentam-se os dados introduzidos para as fases de jogo/aquecimento (Tabela 3.6) e de intervalo (Tabela 3.7) para o caso de Basquetebol.

A atividade metabólica considerada para as fases de jogo e intervalo/repouso foi de  $M = 5,0$  e  $M = 1,2$ , respetivamente. A fase de aquecimento foi implementada com um valor moderado de nível de atividade metabólica ( $M = 2,5$ ). Para a atividade metabólica usada para o jogo, foram consultadas estatísticas de jogos reais (Pereira, 2005), calculado o nível de atividade metabólica através da norma ISO 8996 (1990) e feita uma correção a esse mesmo valor devido a serem atletas treinados ( $M_{cor} = 0,8M$ ).

**Tabela 3.6 - Resumo das características da fase de Jogo/aquecimento**

Fase de jogo/aquecimento										
Segmentos do corpo	Fluido envolvente	Isolamento Vestuário [clo]	Eficiência da permeabilidade de ao vapor de vestuário	Emissividade da Superfície Externa (pele ou Vestuário)	Massa do vestuário [kg]	Calor específico vestuário [J/kg.°C]	Temperatura Ambiente Envoltente [°C]	Humidade relativa [%]	Velocidade Fluido Envoltente [m/s]	Temperatura média Radiante [°C]
Face	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	90	0.3	23.0
Escalpe	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	90	0.3	23.0
Pescoço	Ar	0.000	1.000	0.900	0.000	-	23.0	90	0.3	23.0
Peito	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	23.0	90	0.3	23.0
Abdómen	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	23.0	90	0.3	23.0
Parte Superior das Costas	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	23.0	90	0.3	23.0
Parte Inferior das Costas	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	23.0	90	0.3	23.0
Pélviz	Ar	0.020	0.340	0.900	0.123	1000	23.0	90	0.3	23.0
Ombro Esquerdo	Ar	0.010	0.340	0.900	0.023	1000	23.0	90	0.3	23.0
Ombro Direito	Ar	0.010	0.340	0.900	0.023	1000	23.0	90	0.3	23.0
Braço Esquerdo	Ar	0.000	1.000	0.900	0.020	1000	23.0	90	0.3	23.0
Braço Direito	Ar	0.000	1.000	0.900	0.020	1000	23.0	90	0.3	23.0
Antebraço Esquerdo	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	90	0.3	23.0
Antebraço Direito	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	90	0.3	23.0
Mão Esquerda	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	90	0.3	23.0
Mão Direita	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	90	0.3	23.0
Coxa Esquerda	Ar	0.025	0.340	0.900	0.080	1000	23.0	90	0.3	23.0
Coxa Direita	Ar	0.025	0.340	0.900	0.080	1000	23.0	90	0.3	23.0
Perna Esquerda	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	90	0.3	23.0
Perna Direita	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	90	0.3	23.0
Pé Esquerdo	Ar	0.060	0.200	0.900	0.390	1000	23.0	90	0.3	23.0
Pé Direito	Ar	0.060	0.200	0.900	0.390	1000	23.0	90	0.3	23.0



Figura 3.1 - Fluxograma das três técnicas simuladas pelo programa. Imersão em água, ingestão de bebida fria e pré-arrefecimento, pela respetiva ordem.

**Tabela 3.7 - Resumo das características da fase Repouso/Intervalo**

Fase de Repouso/Intervalo										
Segmentos do corpo	Fluido envolvente	Isolamento Vestuário [clo]	Eficiência da permeabilidade de ao vapor de vestuário	Emissividade da Superfície Externa (pele ou Vestuário)	Massa do vestuário [kg]	Calor específico vestuário [J/kg.°C]	Temperatura Ambiente Envlovente [°C]	Humidade relativa [%]	Velocidade Fluido Envlovente [m/s]	Temperatura média Radiante [°C]
Face	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	50	0.3	23.0
Escalpe	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	50	0.3	23.0
Pescoço	Ar	0.000	1.000	0.900	0.000	-	23.0	50	0.3	23.0
Peito	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	23.0	50	0.3	23.0
Abdómen	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	23.0	50	0.3	23.0
Parte Superior das Costas	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	23.0	50	0.3	23.0
Parte Inferior das Costas	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	23.0	50	0.3	23.0
Pélviz	Ar	0.020	0.340	0.900	0.123	1000	23.0	50	0.3	23.0
Ombro Esquerdo	Ar	0.010	0.340	0.900	0.023	1000	23.0	50	0.3	23.0
Ombro Direito	Ar	0.010	0.340	0.900	0.023	1000	23.0	50	0.3	23.0
Braço Esquerdo	Ar	0.000	1.000	0.900	0.020	1000	23.0	50	0.3	23.0
Braço Direito	Ar	0.000	1.000	0.900	0.020	1000	23.0	50	0.3	23.0
Antebraço Esquerdo	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	50	0.3	23.0
Antebraço Direito	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	50	0.3	23.0
Mão Esquerda	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	50	0.3	23.0
Mão Direita	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	50	0.3	23.0
Coxa Esquerda	Ar	0.025	0.340	0.900	0.080	1000	23.0	50	0.3	23.0
Coxa Direita	Ar	0.025	0.340	0.900	0.080	1000	23.0	50	0.3	23.0
Perna Esquerda	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	50	0.3	23.0
Perna Direita	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	23.0	50	0.3	23.0
Pé Esquerdo	Ar	0.060	0.200	0.900	0.390	1000	23.0	50	0.3	23.0
Pé Direito	Ar	0.060	0.200	0.900	0.390	1000	23.0	50	0.3	23.0

### 3.2.2. Futebol de onze

Tal como no caso do Basquetebol, a implementação do desporto Futebol de onze foi elaborada de modo a representar o mais aproximadamente possível um jogo de futebol, tendo assumido-se que se tratava de um atleta que joga na posição de defesa central. Neste caso, foi considerada uma temperatura quente ( $T_{ar} = T_{mr} = 30^{\circ}\text{C}$ ), assim como uma humidade relativa alta (70%) e uma radiação solar incidente de de  $500 \text{ W/m}^2$  vinda de cima,  $100 \text{ W/m}^2$  vinda de baixo e  $200 \text{ W/m}^2$  para as restantes direções. Foi também implementada uma fase de aquecimento com duração de 5 minutos. Apresenta-se na Figura 3.2 a representação esquemática dos fluxogramas relativos às 3 técnicas de arrefecimento corporal testadas.

Segue-se a apresentação da informação assumida nas simulações para as fases de jogo/aquecimento (Tabela 3.8) e de intervalo (Tabela 3.9) para o caso de Futebol de onze.

A atividade metabólica considerada para as fases de jogo e intervalo/repouso foi de  $M_{cor} = 5,5$  e  $M = 1,2$ , respetivamente. A fase de aquecimento foi implementada com um valor moderado de nível de atividade metabólica ( $M = 2,5$ ). Para a atividade metabólica usada para o jogo, foram consultadas estatísticas de jogos reais (Caixinha *et al.*, 2004),

calculado o nível de atividade metabólica através da norma ISO 8996 (1990) e feita uma correção a esse mesmo valor devido a serem atletas treinados ( $M_{cor} = 0,8M$ ).

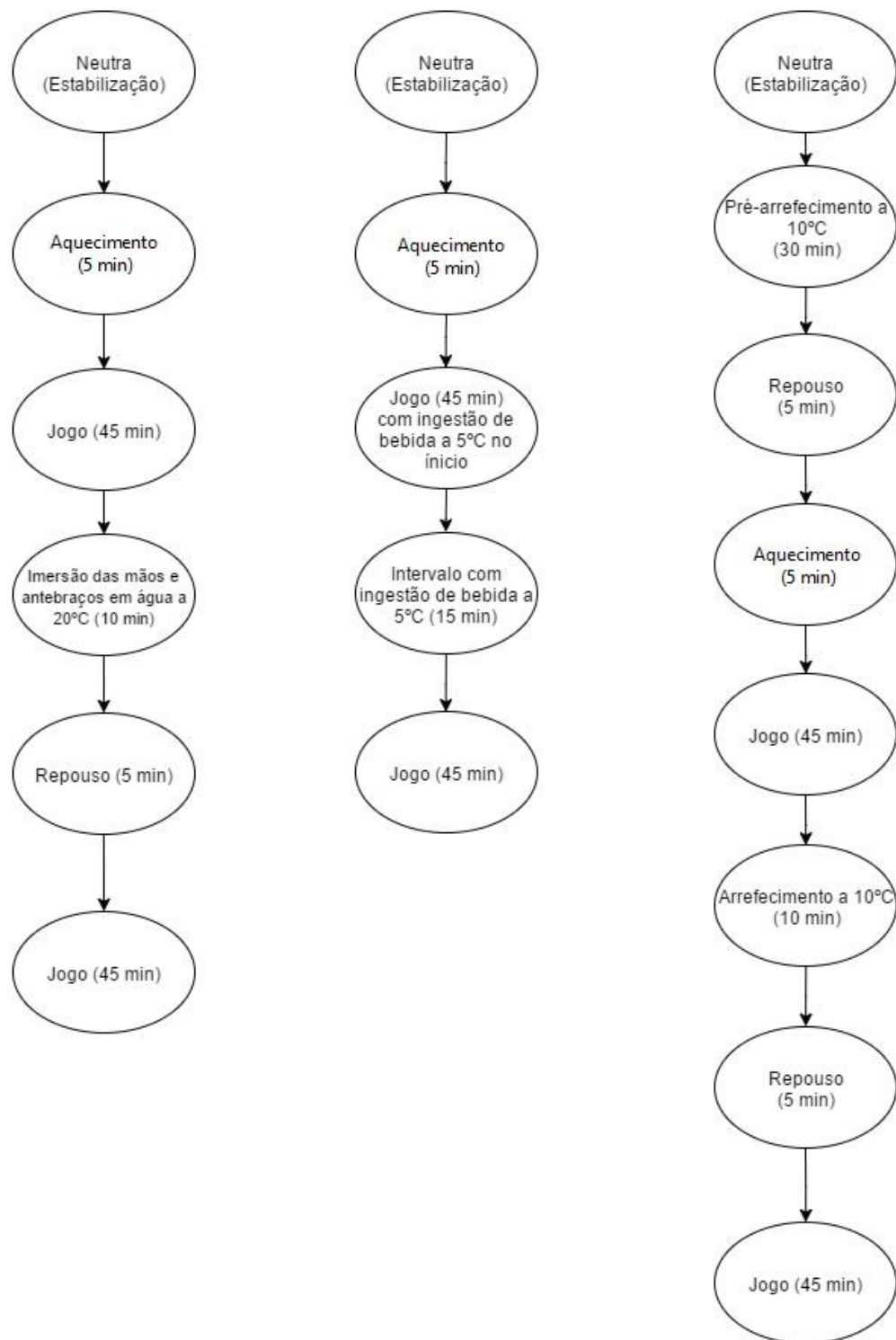


Figura 3.2 - Fluxograma das três técnicas simuladas pelo programa. Imersão em água, ingestão de bebida fria e pré-arrefecimento, pela respetiva ordem.



**Tabela 3.8 - Resumo das características da fase de Jogo/aquecimento**

Fase de jogo/aquecimento										
Segmentos do corpo	Fluido envolvente	Isolamento Vestuário [clo]	Eficiência da permeabilidade de ao vapor de vestuário	Emissividade da Superfície Externa (pele ou Vestuário)	Massa do vestuário [kg]	Calor específico vestuário [J/kg.°C]	Temperatura Ambiente Envolve[n]te [°C]	Humidade relativa [%]	Velocidade Fluido Envolve[n]te [m/s]	Temperatura média Radiante [°C]
Face	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	30.0	70	2	30.0
Escalpe	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	30.0	70	2	30.0
Pescoço	Ar	0.000	1.000	0.900	0.000	-	30.0	70	2	30.0
Peito	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	30.0	70	2	30.0
Abdómen	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	30.0	70	2	30.0
Parte Superior das Costas	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	30.0	70	2	30.0
Parte Inferior das Costas	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	30.0	70	2	30.0
Pélviz	Ar	0.020	0.340	0.900	0.123	1000	30.0	70	2	30.0
Ombro Esquerdo	Ar	0.010	0.340	0.900	0.023	1000	30.0	70	2	30.0
Ombro Direito	Ar	0.010	0.340	0.900	0.023	1000	30.0	70	2	30.0
Braço Esquerdo	Ar	0.000	1.000	0.900	0.020	1000	30.0	70	2	30.0
Braço Direito	Ar	0.000	1.000	0.900	0.020	1000	30.0	70	2	30.0
Antebraço Esquerdo	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	30.0	70	2	30.0
Antebraço Direito	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	30.0	70	2	30.0
Mão Esquerda	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	30.0	70	2	30.0
Mão Direita	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	30.0	70	2	30.0
Coxa Esquerda	Ar	0.025	0.340	0.900	0.080	1000	30.0	70	2	30.0
Coxa Direita	Ar	0.025	0.340	0.900	0.080	1000	30.0	70	2	30.0
Perna Esquerda	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	30.0	70	2	30.0
Perna Direita	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	30.0	70	2	30.0
Pé Esquerdo	Ar	0.060	0.200	0.900	0.390	1000	30.0	70	2	30.0
Pé Direito	Ar	0.060	0.200	0.900	0.390	1000	30.0	70	2	30.0

**Tabela 3.9 - Resumo das características da fase Repouso/Intervalo**

Intervalo										
Segmentos do corpo	Fluido envolvente	Isolamento Vestuário [clo]	Eficiência da permeabilidade de ao vapor de vestuário	Emissividade da Superfície Externa (pele ou Vestuário)	Massa do vestuário [kg]	Calor específico vestuário [J/kg.°C]	Temperatura Ambiente Envolve[n]te [°C]	Humidade relativa [%]	Velocidade Fluido Envolve[n]te [m/s]	Temperatura média Radiante [°C]
Face	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	24.0	50	0.3	24.0
Escalpe	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	24.0	50	0.3	24.0
Pescoço	Ar	0.000	1.000	0.900	0.000	-	24.0	50	0.3	24.0
Peito	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	24.0	50	0.3	24.0
Abdómen	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	24.0	50	0.3	24.0
Parte Superior das Costas	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	24.0	50	0.3	24.0
Parte Inferior das Costas	Ar	0.020	0.340	0.900	0.023	1000	24.0	50	0.3	24.0
Pélviz	Ar	0.020	0.340	0.900	0.123	1000	24.0	50	0.3	24.0
Ombro Esquerdo	Ar	0.010	0.340	0.900	0.023	1000	24.0	50	0.3	24.0
Ombro Direito	Ar	0.010	0.340	0.900	0.023	1000	24.0	50	0.3	24.0
Braço Esquerdo	Ar	0.000	1.000	0.900	0.020	1000	24.0	50	0.3	24.0
Braço Direito	Ar	0.000	1.000	0.900	0.020	1000	24.0	50	0.3	24.0
Antebraço Esquerdo	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	24.0	50	0.3	24.0
Antebraço Direito	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	24.0	50	0.3	24.0
Mão Esquerda	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	24.0	50	0.3	24.0
Mão Direita	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	24.0	50	0.3	24.0
Coxa Esquerda	Ar	0.025	0.340	0.900	0.080	1000	24.0	50	0.3	24.0
Coxa Direita	Ar	0.025	0.340	0.900	0.080	1000	24.0	50	0.3	24.0
Perna Esquerda	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	24.0	50	0.3	24.0
Perna Direita	Ar	0.000	1.000	0.930	0.000	-	24.0	50	0.3	24.0
Pé Esquerdo	Ar	0.060	0.200	0.900	0.390	1000	24.0	50	0.3	24.0
Pé Direito	Ar	0.060	0.200	0.900	0.390	1000	24.0	50	0.3	24.0

### 3.3. Síntese das Situações a Analisar

Todas as técnicas referidas na secção 3.1 serão analisadas e comparadas tanto para Basquetebol como para futebol de onze. A avaliação da eficácia de cada técnica de arrefecimento corporal é efetuada comparando o estado termofisiológico do atleta virtual utilizando essa técnica com a "situação de controlo", caracterizada pela não aplicação de qualquer técnica de condicionamento do estado térmico do corpo. Isto é, será simulado, para ambos os casos, o decorrer de um jogo normal, sendo posteriormente comparado com a aplicação das técnicas de arrefecimento a esse mesmo jogo. Resumem-se na tabela 3.10 as situações a analisar.

**Tabela 3.10 - Resumo das técnicas aplicadas**

<b>Técnica de arrefecimento</b>	<b>Basquetebol</b>	<b>Futebol de onze</b>
AIMA	X	X
PAAF	X	X
ABF	X	X
Nenhuma (controlo)	X	X

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo pretende-se avaliar a eficácia de algumas técnicas de arrefecimento corporal em termos de redução do estado de stresse hipertérmico de atletas durante a prática de Basquetebol e de Futebol de onze. Ao longo do presente capítulo serão apresentados e analisados os resultados obtidos nas simulações numéricas realizadas pelo programa *HuTheReg* e que demonstram a evolução da resposta termofisiológica prevista para a aplicação de cada uma das técnicas de arrefecimento corporal para cada desporto. Serão analisadas as temperaturas do hipotálamo e retal, assim como a variação do calor armazenado pelo corpo no decorrer do desporto, devido a serem bons indicadores.

### 4.1. Basquetebol

#### 4.1.1. Arrefecimento por imersão das mãos e antebraços em água fria

Apresenta-se na Figura 4.1 a comparação entre os valores simulados para o grupo de controlo (linhas a tracejado) e para a aplicação da técnica de arrefecimento por imersão das mãos e antebraços em água fria (linhas contínuas). São apresentadas as temperaturas retal ( $T_{re}$ ) e do hipotálamo ( $T_{hip}$ ) e também a quantidade de calor armazenado para o decorrer do jogo de basquetebol.

#### 4.1.2. Pré-arrefecimento em ambiente frio

Apresenta-se na Figura 4.2 a comparação entre os valores simulados para o grupo de controlo (linhas a tracejado) e para a aplicação da técnica de Pré-arrefecimento a 10°C (linhas contínuas). São apresentadas as temperaturas retal ( $T_{re}$ ) e do hipotálamo ( $T_{hip}$ ) e também a quantidade de calor armazenado para o decorrer do jogo de basquetebol.

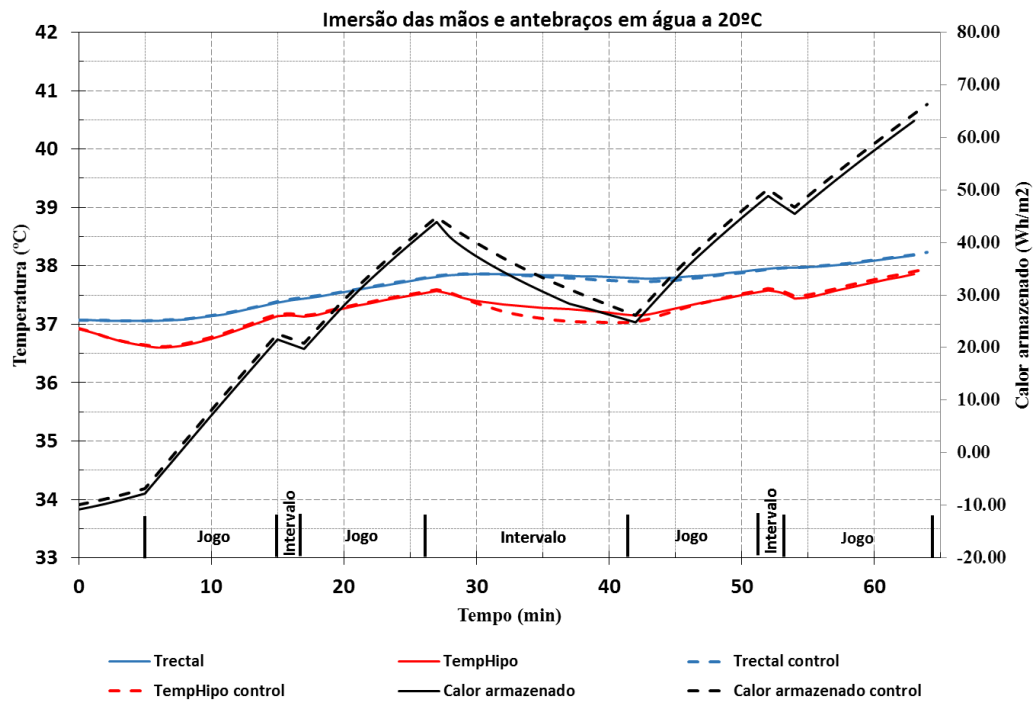


Figura 4.1 - Comparação de resultados obtidos para o desporto de basquetebol entre o grupo de controlo (sem técnica aplicada) e a técnica de arrefecimento por imersão das mãos e antebraços em água fria.

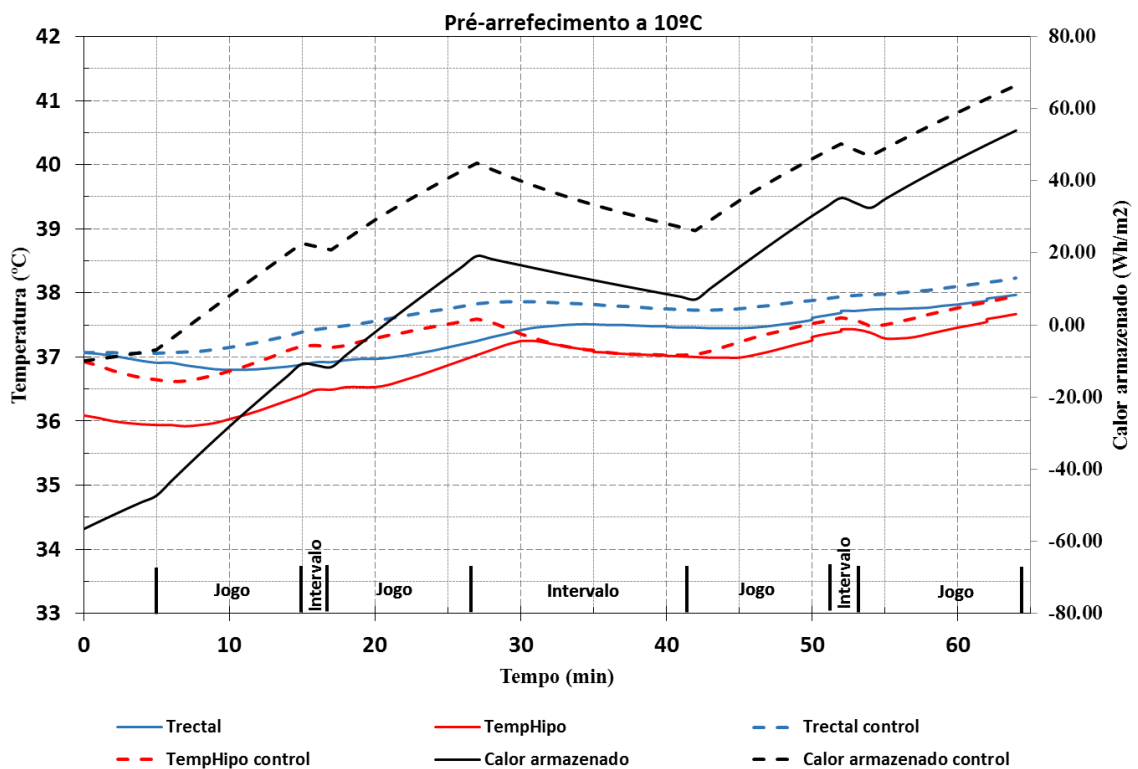


Figura 4.2 - Comparação de resultados obtidos para o desporto de basquetebol entre o grupo de controlo (sem técnica aplicada) e a técnica de pré-arrefecimento em ambiente frio.

### 4.1.3. Arrefecimento por ingestão de bebida fria

Apresenta-se na Figura 4.3 a comparação entre os valores simulados para o grupo de controlo (linhas a tracejado) e para a aplicação da técnica de arrefecimento por ingestão de bebida fria (linhas contínuas). São apresentadas as temperaturas retal ( $T_{re}$ ) e do hipotálamo ( $T_{hip}$ ) e também a quantidade de calor armazenado para o decorrer do jogo de basquetebol.

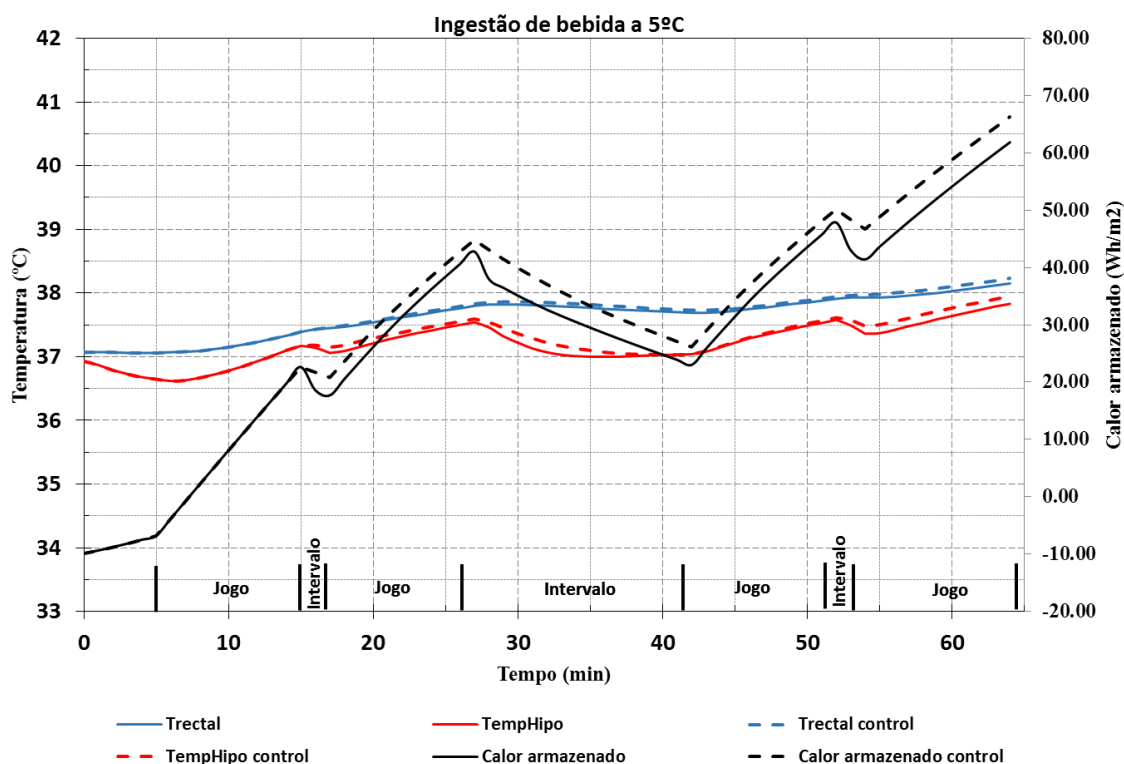


Figura 4.3 - Comparação de resultados obtidos para o desporto de basquetebol entre o grupo de controlo (sem técnica aplicada) e a técnica de arrefecimento por ingestão de bebida fria.

### 4.1.4. Análise comparativa entre as várias técnicas de arrefecimento

Apresenta-se na Figura 4.4 a comparação entre os valores simulados para o grupo de controlo (linhas a tracejado) e as diferentes técnicas de arrefecimento corporal testadas para o desporto de basquetebol, assim como uma aplicação simultânea das 3 técnicas de arrefecimento corporal que tinham sido anteriormente simuladas. Optou-se por apresentar os gráficos em função do calor armazenado devido a ser a variável mais relevante.

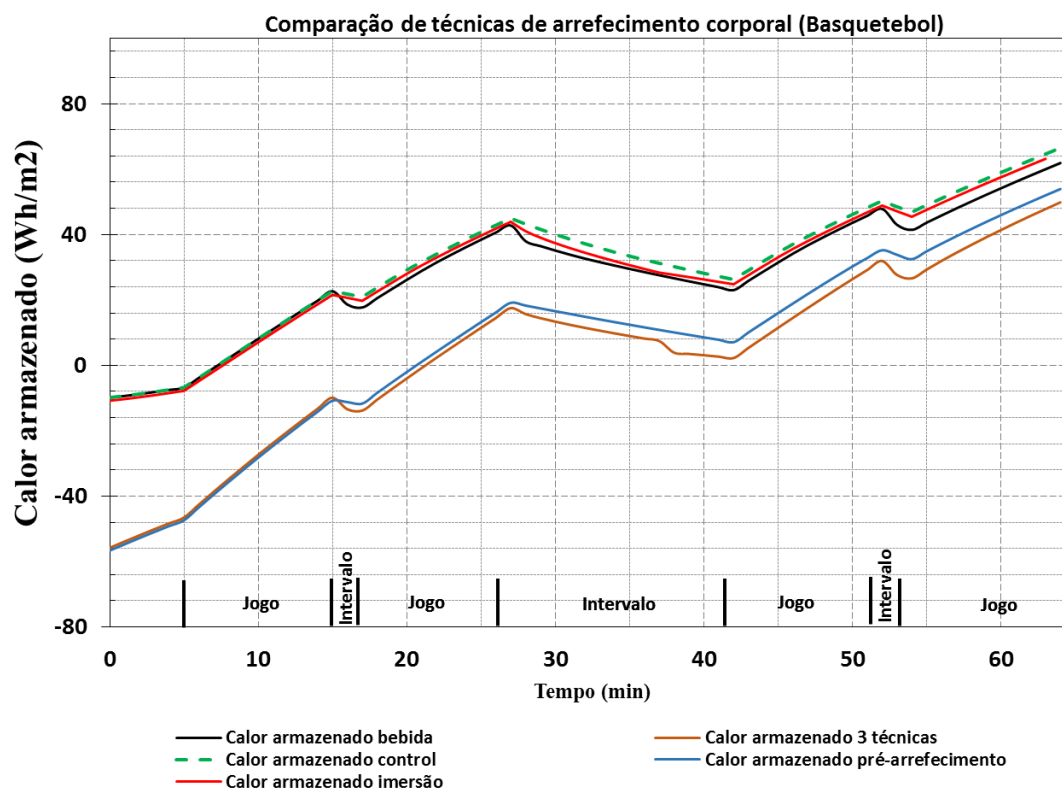


Figura 4.4 - Comparação de resultados obtidos para o desporto de basquetebol entre o grupo de controlo (sem técnica aplicada) e as três técnicas de arrefecimento testadas (individuais e simultaneamente aplicadas).

Pela observação dos casos anteriores e da Figura 4.4, conclui-se que a técnica de arrefecimento corporal individual mais eficaz é, sem dúvida, o pré-arrefecimento com ar a 10°C. Não só teve temperaturas mais baixas ( $T_{re}$  e  $T_{hip}$ ), como também valores mais baixos de calor armazenado, quando comparada com as outras técnicas ou com o grupo de controlo. Isto deve-se ao fato de os indivíduos se encontrarem com uma temperatura reduzida já no início do jogo.

A técnica de arrefecimento por imersão dos braços e antebraços em água revelou-se ineficaz, talvez devido ao pouco tempo de aplicação da técnica (o intervalo tinha 15 minutos, dos quais 5 foram usados para atenuar o efeito de vasoconstrição que poderia ocorrer caso os jogadores fossem diretamente para o jogo).

A ingestão de bebida revelou alguma eficácia em reduzir a temperatura do hipotálamo ( $T_{hip}$ ) e em reduzir o valor de calor armazenado. É possível que aumentando o volume de água ingerida se obtenham melhores resultados, já que este desporto

(basquetebol) permite facilmente a ingestão de água devido aos intervalos que tem ao longo do jogo.

Ao aplicar simultaneamente as 3 técnicas de arrefecimento em estudo, como seria de esperar, foi obtido um valor de calor armazenado inferior, quando comparado com a aplicação individual da técnica de pré-arrefecimento corporal.

Apresenta-se na Tabela 4.1 a análise estatística para a aplicação das várias técnicas de arrefecimento corporal (basquetebol) quando comparadas com o grupo de controlo (apenas durante o período de jogo). Como seria de esperar, o coeficiente de Pearson é quase sempre igual a 1 em todos os casos (pois a evolução é sempre no mesmo sentido, como se pode verificar pela consulta dos gráficos). Ao consultar os valores da média das diferenças relativas ( $\delta$ ), facilmente se verifica que a aplicação simultânea das 3 técnicas de arrefecimento corporal obteve melhores valores quando comparado com o grupo de controlo, seguida da aplicação do pré-arrefecimento corporal (valores positivos representam um decréscimo de calor armazenado em relação ao grupo de controlo). Pela mesma consulta verifica-se também que a técnica de arrefecimento por imersão das mãos e antebraços foi a técnica menos eficaz.

**Tabela 4.1 - Análise estatística da aplicação de técnicas de arrefecimento corporal no desporto de basquetebol (relativamente ao grupo de controlo)**

Basquetebol					
Caso	Calor armazenado	$\delta$	$\sigma$	DQM	Pearson ( <i>r</i> )
<b>AIMA</b>	Wh/m <sup>2</sup>	1.180	0.162	0.180	1.000
<b>PAAF</b>	Wh/m <sup>2</sup>	24.137	9.636	3.912	0.990
<b>ABF</b>	Wh/m <sup>2</sup>	2.538	1.758	0.464	0.999
<b>3 TECN</b>	Wh/m <sup>2</sup>	26.639	7.530	4.170	0.993

## 4.2. Futebol

### 4.2.1. Arrefecimento por imersão das mãos e antebraços em água fria

Apresenta-se na Figura 4.5 a comparação entre os valores simulados para o grupo de controlo (linhas a tracejado) e para a aplicação da técnica de arrefecimento por imersão das mãos e antebraços em água fria (linhas contínuas). São apresentadas as temperaturas retal ( $T_{re}$ ) e do hipotálamo ( $T_{hip}$ ) e também a quantidade de calor armazenado para o decorrer do jogo de futebol.

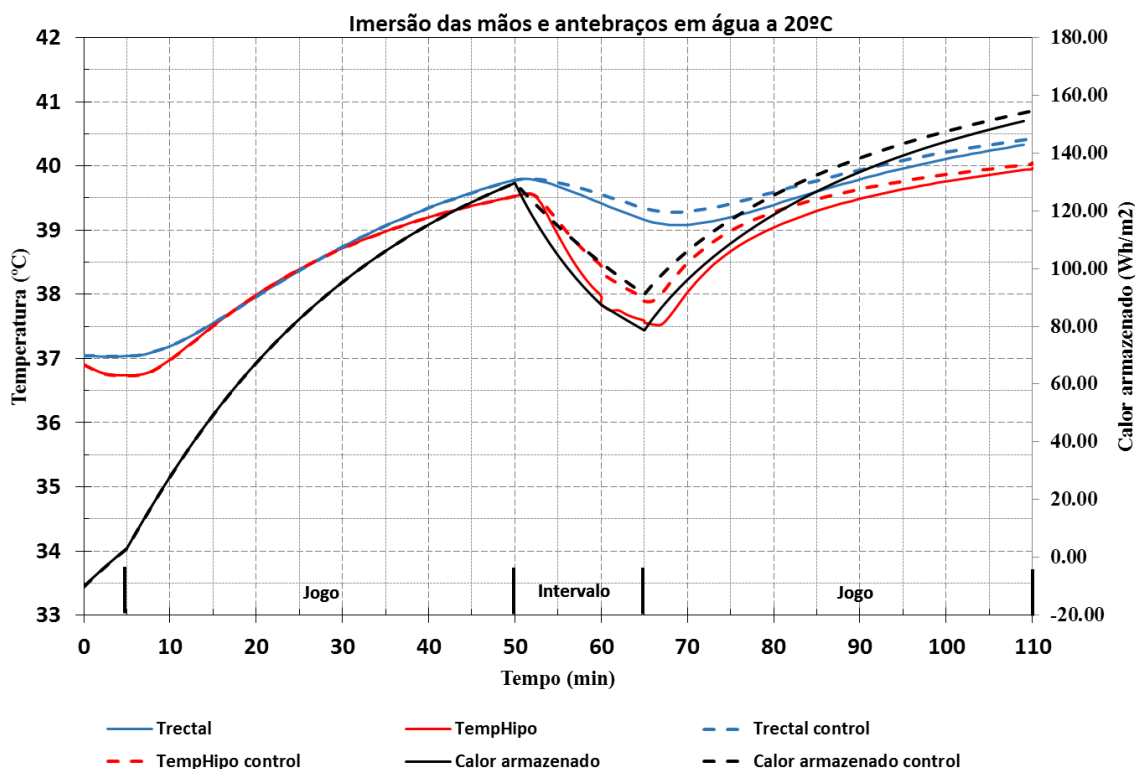


Figura 4.5 - Comparação de resultados obtidos para o desporto de futebol entre o grupo de controlo (sem técnica aplicada) e a técnica de arrefecimento por imersão das mãos e antebraços em água fria.

### 4.2.2. Pré-arrefecimento em ambiente frio

O pré arrefecimento no caso do futebol foi aplicado durante 30 minutos antes do início do jogo e também durante 10 minutos no intervalo, sempre com 5 minutos de repouso (a uma temperatura de 24°C) posteriores ao pré-arrefecimento, para atenuar a possível ocorrência de vasoconstrição.



Apresenta-se na Figura 4.6 a comparação entre os valores simulados para o grupo de controlo (linhas a tracejado) e para a aplicação da técnica de Pré-arrefecimento a 10°C (linhas contínuas). São apresentadas as temperaturas retal ( $T_{re}$ ) e do hipotálamo ( $T_{hip}$ ) e também a quantidade de calor armazenado para o decorrer do jogo de futebol.

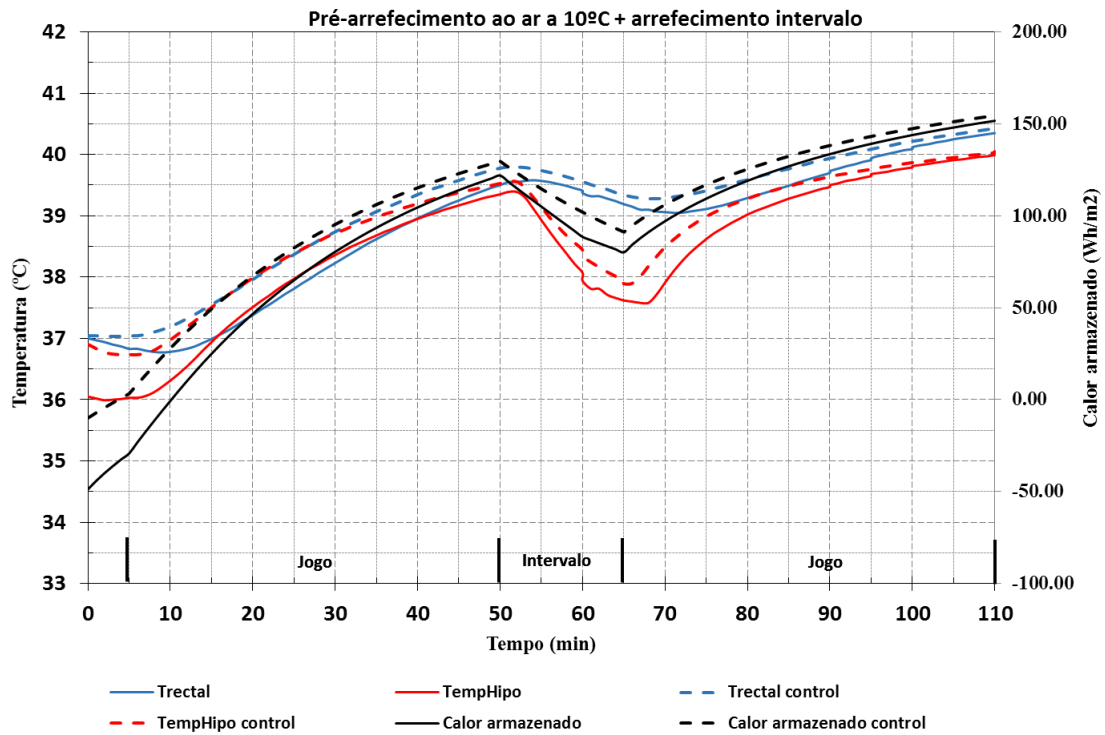


Figura 4.6 - Comparação de resultados obtidos para o desporto de futebol entre o grupo de controlo (sem técnica aplicada) e a técnica de pré-arrefecimento em ambiente frio.

### 4.2.3. Arrefecimento por ingestão de bebida fria

A ingestão de bebida foi feita no início do jogo e no intervalo, em quantidades de 200ml e 300 ml, respetivamente. Apresenta-se na Figura 4.7 a comparação entre os valores simulados para o grupo de controlo (linhas a tracejado) e para a aplicação da técnica de arrefecimento por ingestão de bebida fria (linhas contínuas). São apresentadas as temperaturas retal ( $T_{re}$ ) e do hipotálamo ( $T_{hip}$ ) e também a quantidade de calor armazenado para o decorrer do jogo de futebol.

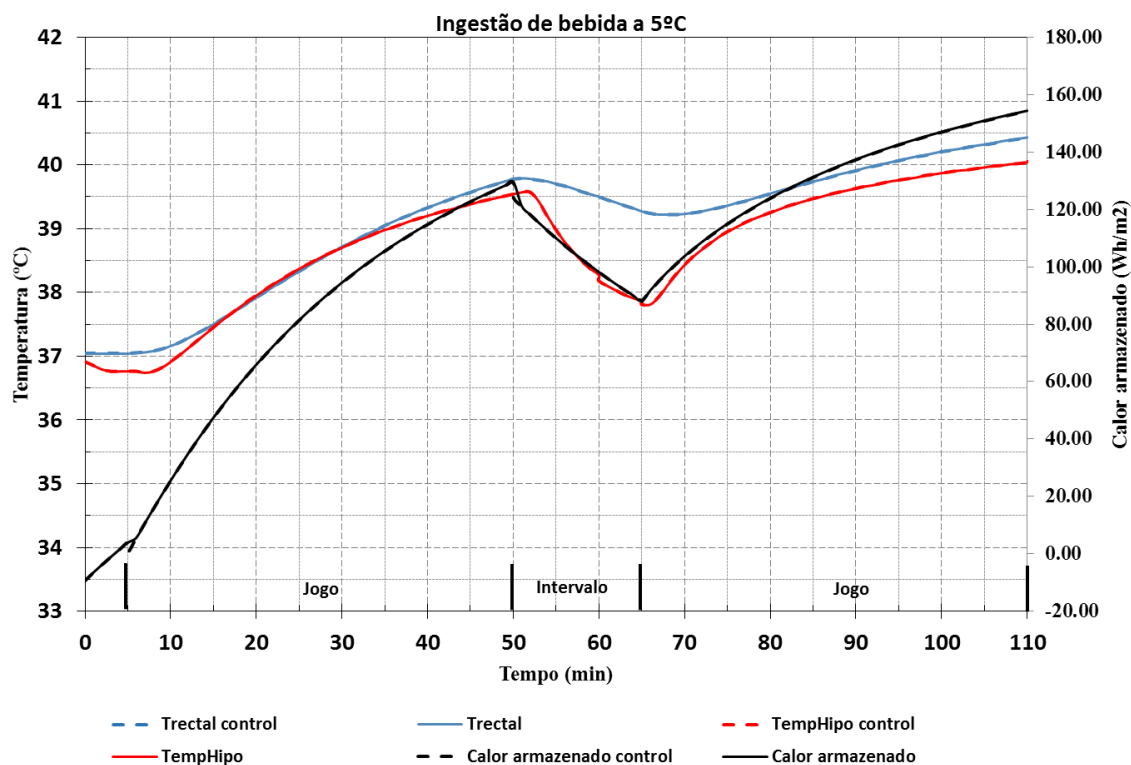


Figura 4.7 - Comparação de resultados obtidos para o desporto de futebol entre o grupo de controlo (sem técnica aplicada) e a técnica de arrefecimento por ingestão de bebida fria.

#### 4.2.4. Análise comparativa entre as várias técnicas de arrefecimento

Apresenta-se na Figura 4.8 a comparação entre os valores simulados para o grupo de controlo (linhas a tracejado) e as diferentes técnicas de arrefecimento corporal testadas para o desporto de futebol de onze. Optou-se também por apresentar os gráficos em função do calor armazenado devido a ser a variável mais relevante.

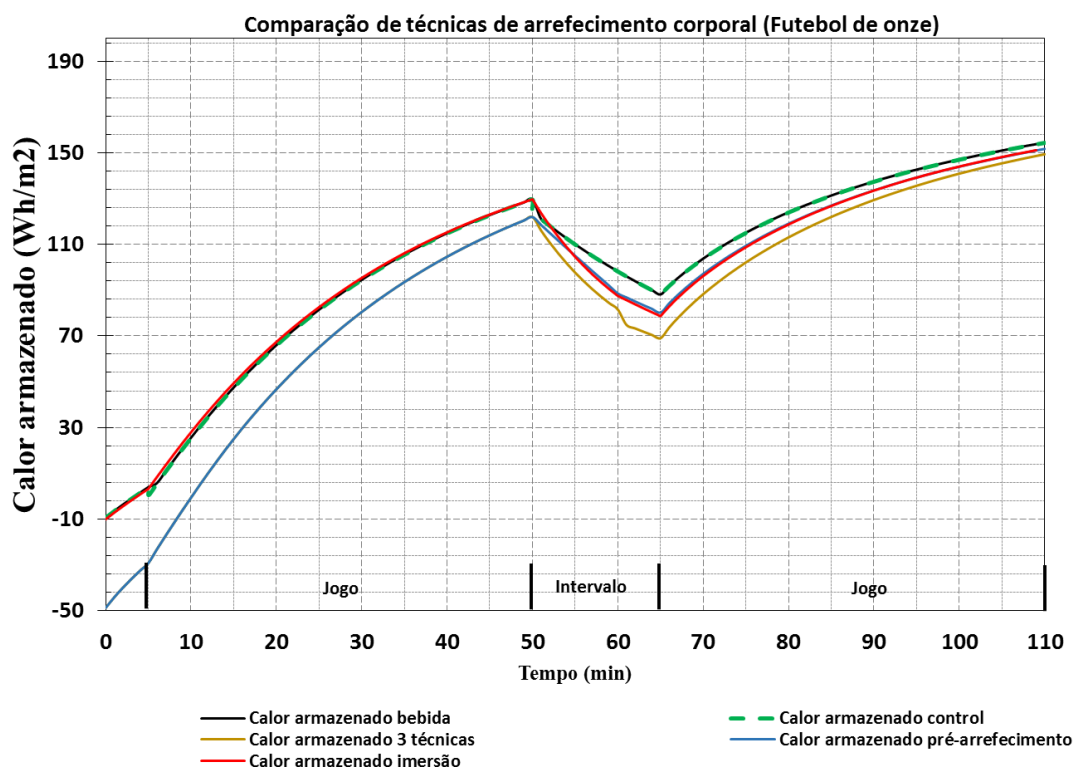


Figura 4.8 - Comparação de resultados obtidos para o desporto de futebol entre o grupo de controlo (sem técnica aplicada) e as três técnicas de arrefecimento testadas (individuais e simultaneamente aplicadas).

Tal como se verificou no caso do basquetebol, e, através da visualização dos casos anteriores e da Figura 4.8, a técnica de arrefecimento corporal individual mais eficaz foi o pré-arrefecimento. Quando comparada com a situação de controlo e com as outras técnicas de arrefecimento corporal testadas, a técnica de pré-arrefecimento conseguiu que as temperaturas retal ( $T_{re}$ ) e a do hipotálamo ( $T_{hip}$ ) fossem mais baixas ao longo de todo o jogo, assim como o valor de calor armazenado. É importante referir que foi também feito um arrefecimento durante 10 minutos ao intervalo, seguido de 5 minutos em repouso para atenuar a possível ocorrência de vasoconstrição.

A técnica de arrefecimento por imersão das mãos e antebraços em água fria revelou-se mais eficaz do que no desporto de basquetebol, provavelmente porque, devido à longa duração do esforço físico, os atletas se encontravam mais quentes.

A ingestão de bebida, ao contrário do caso de basquetebol, revelou-se ineficaz em atenuar as temperaturas retal e do hipotálamo.

Ao aplicar simultaneamente as 3 técnicas de arrefecimento em estudo, tal como no caso do basquetebol, foi obtido um valor de calor armazenado inferior, quando comparado com a aplicação individual da técnica de pré-arrefecimento corporal.

Apresenta-se na Tabela 4.2 a análise estatística da aplicação das várias técnicas de arrefecimento corporal (futebol) quando comparadas com o grupo de controlo (apenas durante o período de jogo). Tal como no caso do basquetebol, o coeficiente de Pearson é quase sempre igual a 1 em todos os casos (pois a evolução é sempre no mesmo sentido, como se pode verificar pela consulta dos gráficos). Ao consultar os valores da média das diferenças relativas ( $\delta$ ), facilmente se verifica que a aplicação simultânea das 3 técnicas de arrefecimento corporal obteve também melhores valores quando comparado com o grupo de controlo, seguida da aplicação do pré-arrefecimento corporal (valores positivos representam um decréscimo de calor armazenado em relação ao grupo de controlo). Pela mesma consulta verifica-se também que a técnica de arrefecimento por ingestão de bebida fria foi a técnica menos eficaz.

**Tabela 4.2 - Análise estatística da aplicação de técnicas de arrefecimento corporal no desporto de futebol (relativamente ao grupo de controlo)**

Futebol					
Caso	Calor armazenado	$\delta$	$\sigma$	DQM	Pearson ( $r$ )
AIMA	Wh/m <sup>2</sup>	2.993	3.585	0.485	0.996
PAAF	Wh/m <sup>2</sup>	11.660	8.164	1.481	1.000
ABF	Wh/m <sup>2</sup>	1.146	0.821	0.147	1.000
3 TECN	Wh/m <sup>2</sup>	14.288	7.121	1.663	0.999

## 5. CONCLUSÃO

Ao longo do presente trabalho, o programa *HuTheReg* foi testado de modo a verificar a sua aplicabilidade e fiabilidade na previsão do comportamento termofisiológico do corpo humano em situações de desporto. O programa já tinha sido testado anteriormente para diversos casos, desde mudanças bruscas de ambiente, diversos tempos de exposição, vários tipos de vestuário e diversas técnicas alternativas de recuperação da temperatura corporal por arrefecimento. Em praticamente todos os casos o programa teve bons resultados. No entanto, o programa ainda não tinha sido testado para valores muito elevados de atividade metabólica durante longos períodos de tempo, como aqueles a que os atletas estão sujeitos.

O programa *HuTheReg* foi implementado tendo em consideração uma pessoa normal, com uma idade de cerca de 45 anos e com uma preparação física normal (típica de quem pratica exercício físico de um modo muito moderado). Também não tem implementado nenhum algoritmo que permita levar em consideração o nível de treino da pessoa, muito menos o típico em atletas de alta competição. Como consequência, houve inicialmente dificuldade em fazer aproximar as previsões do programa com as medições experimentais presentes na bibliografia obtidas utilizando atletas altamente treinados. Para compensar esta falha, foi necessário reduzir os níveis de atividade metabólica de modo a tornar equivalente a geração interna de calor entre um atleta e um indivíduo normal. O recurso a este artifício permitiu que fosse viável uma validação positiva do programa. De qualquer modo recomenda-se que este aspeto seja tido em consideração numa próxima versão do programa.

As previsões obtidas por simulação revelaram que a técnica de pré-arrefecimento é a técnica individual mais eficaz no arrefecimento corporal no desporto de basquetebol, com valores ligeiramente mais baixos de temperaturas retal e hipotálamo, assim como um valor mais baixo de calor armazenado ao longo de todo o jogo, quando comparado com a situação de controlo (sem qualquer arrefecimento) e as restantes técnicas testadas.

A técnica de imersão das mãos e antebraços aplicada ao basquetebol obteve resultados semelhantes ao grupo de controlo, possivelmente por apenas ter sido aplicada durante 10 minutos no intervalo.

A técnica de arrefecimento por ingestão de bebida fria revelou-se eficaz neste desporto, mas com desempenho inferior ao da técnica de pré-arrefecimento.

A aplicação simultânea das 3 técnicas de arrefecimento corporal revelou maior eficácia de um modo geral.

No caso do futebol, tanto a técnica de arrefecimento corporal por imersão como por pré-arrefecimento obtiveram bons resultados, com temperaturas retal e do hipotálamo mais baixas do que o grupo de controlo, assim como valores mais baixos de calor armazenado ao longo do jogo. Ao contrário da prática de basquetebol, em que mostrou alguma eficácia, no caso da prática de futebol de onze a ingestão de bebidas frias revelou-se ineficaz.

A técnica de arrefecimento por ingestão de bebida fria poderá ser uma boa opção para desportos que contenham vários intervalos, como por exemplo o basquetebol, permitindo assim ingerir um maior volume de água fria a cada intervalo, tendo um excelente potencial devido à facilidade de aplicação da técnica.

A técnica de arrefecimento por imersão das mãos e antebraços em água fria revelou pouca eficácia, possivelmente devido ao pouco tempo disponível para aplicar esta técnica, pois os intervalos têm uma duração limitada a 15 minutos.

A aplicação simultânea das 3 técnicas de arrefecimento corporal, tal como no caso do basquetebol, revelou maior eficácia de um modo geral.

Pelos resultados obtidos, recomenda-se o uso da técnica individual de pré-arrefecimento corporal para qualquer tipo de desporto de longa duração, já que esta demonstrou uma boa eficácia em baixar globalmente a temperatura corporal, assim como apresenta um menor valor do calor contido no corpo do atleta.

A aplicação simultânea das 3 técnicas de arrefecimento corporal estudadas permite obter os melhores resultados para ambos os desportos, pelo que se recomenda a sua aplicação sempre que possível, apesar de ser complexa a sua utilização simultânea.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, R.M.; Raimundo, A.M.; Quintela, D.A. (2014), “Analysis of the thermophysiological response to cooling techniques in firefighters”, VII International Conference on Forest Fire Research, paper H01 (pp. 1-3), 14 – 21 November 2014, Coimbra – Portugal.
- Abreu, R.M.S. (2013), *Análise e simulação termofisiológica de técnicas de arrefecimento corporal aplicadas a um bombeiro no combate a incêndios florestais*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Anjo, T.M.L (2015), *Técnicas de Arrefecimento do Corpo Humano, Validação de um modelo Termofisiológico*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Berry, C.K. (2013), “Heat stress fact sheet”, N.C. Department of Labor, de Occupational Safety and Health Topics A to Z. Acedido em Janeiro de 2015, [http://www.nclabor.com/osha/etta/A\\_to\\_Z\\_Topics/heat\\_stress.htm](http://www.nclabor.com/osha/etta/A_to_Z_Topics/heat_stress.htm)
- Boulant, J. A. (2000), “Role of the Preoptic-Anterior Hypothalamus in Thermoregulation and Fever”, *Clinical Infectious Diseases*, Vol 31, pp. 157-161
- Caixinha, P.F.; Sampaio, J.; Mil-Homens, P.V. (2004), “Variação dos valores da distância percorrida e da velocidade de deslocamento em sessões de treino e em competições de futebolistas juniores”, *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 2004, vol. 4, nº 1, pp. 7-16.
- Convertino, V.A.; Armstrong, L.E.; Coyle, E.F. *et al.* (1996), “Exercise and Fluid Replacement”, *American College of Sports Medicine, Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol 28, No. 1, pp i-vii
- Fiala D.; Lomas K.J. & Stohrer M. (1999), “A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions - The passive system”, *Journal of Applied Physiology*, Vol. 87, pp. 1957-1972.
- Gourgel, A.G. (2011), *Thermophysiological Safety Methods of Fighting Fires – a Numerical Study*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Hanna, E.G.; Tait, P.W. (2015), “Limitations to Thermoregulation and Acclimatization Challenge Human Adaptation to Global Warming”, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2015, 12, pp 8034-8074
- ISO 8996 (1990), *Ergonomie – Détermination de la production de chaleur métabolique*, ISO, Geneva.
- ISO 9920 (2007), *Ergonomics of the thermal environment – estimation of thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble*, ISO, Geneva.

- Kenefick, R.W.; Cheuvront, S.N.; Sawka, M.N. (2007), "Thermoregulatory Function During the Marathon", *Sports Med*, 37, pp 312-315.
- Lee, D.T.; Haymes, E.M. (1995), "Exercise duration and thermoregulatory response after whole body precooling", *Journal of Applied Physiology*, Vol 79(6), pp. 1971-1976.
- Lopez, R.M.; Cleary, M.A.; Jones, L.C. *et al.* (2008), "Thermoregulatory Influence of a Cooling Vest on Hyperthermic Athletes", *Journal of Athletic Training*, Vol. 43(1), pp 55-61.
- Mündel, T.; King, J.; Collacott, E.; Jones, D.A. (2006), "Drink temperature influences fluid intake and endurance capacity in men during exercise in a hot, dry environment", *Experimental Physiology*, Vol. 91.5, pp 925-933.
- OMS (1969), *Health factors involved in working under conditions of heat stress*, World Health Organization, Technical Report Series, N° 412, Genève.
- Pereira, C.M.D. (2014), *Teste e validação de um programa de simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Pereira, H.F. (2005), *Caracterização dos parâmetros de esforço em basquetebol*, Monografia de Licenciatura em Desporto e Educação Física, Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto.
- Raimundo, A.M. & Figueiredo, A.R. (2009), "Personal protective clothing and safety of firefighters near a high intensity fire front", *Fire Safety Journal*, Vol. 44, pp. 514-521.
- Raimundo, A.M.; Pereira, C.D.; Quintela, D.A.; A. Oliveira, A.V. (2015), "Human body thermoregulation - test and validation of a computer program", SHO-2015: International Symposium on Occupational Safety and Hygiene, Guimarães, Portugal, 12-13 February 2015, Paper #25.
- Raimundo, A.M.; Quintela, D.A.; Gaspar, A.R.; Oliveira, A.V.M. (2012), "2nd Portuguese Meeting in Bioengineering", 23 to 25 February 2012, Coimbra, Portugal, Portuguese chapter of IEEE EMBS, ISBN:978-1-4673-4524-8, doi:10.1109/ENBENG.2012.6331338.
- Sawka, M.N.; Leon, L.R.; Montain, S.J.; Sonna, L.A., "Integrated Physiological Mechanisms of Exercise Performance, Adaptation, and Maladaptation to Heat Stress". *Comprehensive Physiology* 2011, Vol 1, 1883-1928
- Stolwijk, J.A.J. (1971), *A mathematical model of physiological temperature regulation in man*, NASA contractor report CR-1855, NASA, Washington DC.
- Tanabe, S.; Kobayashi, K.; Nakano, J.; Ozeki, Y. & Konishi, M. (2002), "Evaluation of thermal comfort using combined multi-node thermoregulation (65MN) and radiation models and computational fluid dynamics (CFD)", *Energy and Buildings*, Vol. 34, pp. 637-646.



Taylor, N.A. (2006). “Challenges to Temperature Regulation When Working in Hot Environments”. *Industrial Health* , 331-344.