



• C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Teste e validação de um programa de simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano

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

Autor

Carlos Miguel Dias Pereira

Orientador

Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo

Júri

Presidente Professor Doutor Jorge Campos da Silva André
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogais Professor Doutor Divo Augusto Alegria Quintela
Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial
Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Coimbra, Julho, 2014

Olha para as tuas mãos, imagina tudo aquilo que elas serão capazes de construir. O mundo espera pelo invisível que, hoje, só tu és capaz de ver.

Existe música por nascer no interior do silêncio.

O possível é o futuro do impossível.

José Luís Peixoto

Aos meus pais.

Agradecimentos

No fim de concluído o trabalho aqui apresentado, deixo aqui os meus sinceros agradecimentos àqueles que sem eles, este trabalho não teria sido possível realizar, pois o seu contributo de modo direto ou indireto, tornaram este objetivo realidade e o seu caminho mais fácil.

Em primeiro lugar tenho de agradecer ao meu orientador Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo (DEM-FCTUC), pela sua excelente prestação neste trabalho aqui apresentado, uma pessoa sempre disponível para ajudar, para tirar dúvidas, para resolver problemas que se colocaram no meu caminho e para explicar com a maior das clarezas tudo aquilo que tive a honra de aprender com ele, alguém que tornou este caminho mais belo e acessível e sem dúvida, uma amizade que se construiu no âmbito do trabalho, da dedicação e do conhecimento.

Um agradecimento também a todos os professores (DEM-FCTUC) que ao longo destes anos me transmitiram conhecimento e me colocaram à prova, neste meu percurso no Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica.

Ao professor Jon Nesbit pela amizade, ensino e simpatia que me ofereceu ao longo dos últimos dois anos na Faculdade de Letras.

Aos meus pais, pois sem eles eu não seria quem eu sou hoje e nada disto seria possível, pois foram eles que me ajudaram a tornar a pessoa que hoje sou, que me ensinaram a amar, que me deram força nas horas tristes, sorrisos nos momentos alegres, me educaram com os melhores princípios e acima de tudo sempre acreditaram e apostaram tudo em mim, todas as palavras não chegariam para mostrar a minha gratidão que eles merecem, por isso fico-me por um pequeno obrigado.

À minha família, em especial à minha avó Manuela por todo amor, apoio e preocupação, que sempre me dedicou.

À Joaquina por todo o amor, carinho e bons momentos que passámos juntos, pois tornou os meus dias mais bonitos, o meu coração mais alegre e é disto que o amor precisa e a razão pela qual ele existe.

À pipoca, a minha gata, pois foi quem passou mais tempo junto a mim, me fez companhia, me arrancou sorrisos dos lábios e me descontraíu, mesmo quando o trabalho parecia difícil e longo.

Por fim, a todos os meus colegas e amigos, por todos os bons momentos, alegrias e tristezas que passamos juntos ao longo destes anos, quer a trabalhar, quer nas aulas, quer na boémia da nossa querida cidade, em particular queria deixar um muito obrigado aos meus quase irmãos, João Mendes, Marco Melo, Norberto Ramos e Rui Marques, por todas as aventuras vividas na vossa companhia, na nossa Coimbra dos amores e por esse mundo fora.

Resumo

Os programas de simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano têm ganho uma enorme importância na nossa sociedade ao longo dos tempos, em particular nos tempos modernos. A sua utilização permite ajudar a melhorar as condições de conforto térmico no interior de edifícios, a melhorar o rendimento de atividades desportivas, a elaborar protocolos para certas atividades, a estudar situações em que indivíduos são sujeitos a elevados esforços ou em que trabalham em condições térmicas muito frias ou muito quentes. Foi esta a motivação que motivou o desenvolvimento, no DEM-FCTUC, de um *software* de simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano, o programa *Huthereg*. Em função das características físicas da pessoa, do seu nível de vestuário, da intensidade da sua atividade e das condições térmicas do ambiente em que se encontra, o programa *Huthereg* consegue prever um conjunto alargado de parâmetros (temperaturas interiores, na pele e do vestuário, fluxos de calor sensíveis e latentes, estado térmico global e de cada uma das zonas do corpo humano, etc.).

Este trabalho tem como objectivo validar e testar o programa *Huthereg*, encontrando os seus pontos fortes e fracos, as suas limitações e testando a sua fiabilidade. Para isso foram simulados vários casos relatados na bibliografia científica, com comparação dos resultados experimentais daí retirados com os correspondentes previstos pelo *software*.

De modo a testar o programa numa gama abrangente de situações, os casos selecionados envolvem diferentes ambientes térmicos (de extremamente quente a extremamente frio), com diversos níveis de vestuário (de indivíduos nus até ao uso de vestuário de proteção térmica), com diferentes intensidades de atividade (desde repouso a elevado esforço físico). No caso de indivíduos vestidos foram estudados diferentes níveis de isolamento térmico e com variação da distribuição da roupa pelas várias zonas do corpo humano.

Como ferramentas auxiliares na avaliação do nível de conformidade entre os resultados experimentais retirados da bibliografia e os previstos pelo *software* utilizaram-se as funções estatísticas média aritmética das diferenças relativas (e respectivo desvio padrão), desvio quadrático médio e aquela que foi dada uma importância extra, o coeficiente de correlação de *Pearson*. Estas funções estudam a proximidade entre os

valores medidos e previstos e o tipo de relação que existe entre eles. Adicionalmente foi ainda efectuada uma avaliação com recurso a gráficos.

Pensa-se ter atingido os objectivos propostos. Ou seja, testou-se o programa *Huthereg* para uma gama muito alargada de situações. Obtiveram-se quase sempre bons e muito bons resultados, chegando a ser excelentes em muitos deles. Mesmo quando foram detectadas diferenças entre os valores experimentais e os previstos pelo programa não é garantido que a falha se deve à sua falta de capacidade de previsão. Isto porque na bibliografia, o protocolo que serviu de base aos ensaios quase nunca vem suficientemente detalhado, a descrição dos ambientes térmicos está quase sempre incompleta, o nível de atividade física não aparece quantificado em termos numéricos e nunca é apresentada a distribuição do vestuário pelas diferentes zonas do corpo humano.

Dentro da gama de situações analisadas não foram encontradas limitações à aplicação do *software*. Face ao exposto é óbvia a utilidade, a aplicabilidade e a fiabilidade do programa *Huthereg* na simulação da resposta termofisiológica do corpo humano. Espera-se, assim, que ele continue a ser usado no futuro quer em estudos de investigação, em desenvolvimentos tecnológicos, para avaliar situações térmicas que de algum modo possam ser de risco para as pessoas ou para simplesmente melhorar o desempenho na prática de atividades relacionadas com trabalho, lazer ou desporto.

Palavras-chave: Coeficiente de Correlação de Pearson; Comparação entre Valores Experimentais e Numéricos; Modelo de Termorregulação do Corpo Humano; Temperatura do Corpo Humano; Validação de Resultados Numéricos

Abstract

The importance of programs simulating the behaviour of human thermoregulatory systems has increased greatly. They have been used to improve the conditions of thermal comfort inside buildings, to enhance performance in sporting activities, to develop protocols for specific activities and to study situations in which people are subjected to high levels of stress resulting from very cold or very hot thermal conditions. This was the motivation that led to the development of a software tool that simulates the behaviour of the thermoregulatory systems of human body at DEM-FCTUC. Its name is Huthereg. Depending on the physical characteristics of the person, the amount of clothing, the level of activity and the thermal conditions of the thermal environment where s/he is. The Huthereg program can provide a broad set of parameters (the internal temperature of human body, the skin temperatures and clothing temperatures, the flow of the sensible and latent heat, global thermal state and each of the areas of the human body, etc...)

This study is intended to validate and test the Huthereg program, seeking to discover its strengths and weaknesses, its limitations and to test its reliability. To this end, numerous cases were simulated with data taken from the scientific literature and then, compared with the experimental results, removed therefrom, with the corresponding predicted by the software. In order to test the program on a broad range of situations, the selected cases involve different thermal environments varying from extremely hot to extremely cold, with different levels of clothing (naked subjects to subjects wearing thermal protective clothing), with different levels of activity (from resting to high physical exercise). The dressed subjects were studied with different levels of thermal insulation and with changes in the distribution of the clothing over various parts of the human body.

As auxiliary tools to evaluate the level of compliance between the experimental results taken from the literature and those provided by the software, we use: the statistical functions arithmetic mean of relative differences (and the respective standard deviation), the root mean square deviation and the Pearson correlation coefficient, which was given an extra importance. These functions study the proximity between the measured and the predicted values and the type of ratio that exists between them. Additionally, graphics were used in the evaluation.

The following objective was achieved, the Huthereg program was tested for a very wide range of situations, good and very good results were often obtained, reaching excellent in many of them. Even when differences between experimental and predicted values were detected, the program may not be at fault. It may be that the protocol that was used in the tests is almost never detailed completely in the bibliography, the description of thermal environments is often incomplete, the level of physical activity is not quantified in numerical terms and the distribution of clothing for the different areas of the human body is never presented.

Within the range of the situations analysed, no limitations in the software application were found. Taking this into consideration, the usefulness, the applicability and the reliability of the Huthereg program in the simulation of the thermphysiological response of the human body is apparent.

It is expected that this program will continue to be used in the future in many different research studies, in technological developments, to evaluate thermal situations that may entail risks or simply to improve performance in work or sport related activities.

Keywords Pearson Correlation Coefficient; Comparison Between Experimental and Numerical Values; Thermoregulation Model of the Human Body; Human Body Temperature; Validation of Numerical Results

Índice

Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xv
Simbologia	xxi
Siglas	xxv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Revisão Bibliográfica	2
1.3. Objectivos	3
2. MODELO DE TERMORREGULAÇÃO DO CORPO HUMANO	4
2.1. Descrição Geral do Programa Huthereg	4
2.2. Modelo Termofisiológico – Componente Passiva.....	6
2.2.1. Modelação térmica do corpo humano	6
2.2.2. Temperatura da superfície exterior do vestuário	7
2.3. Modelo Termofisiológico – Componente Ativa.....	9
2.4. Modelo Termofisiológico – Incremento de Tempo.....	10
2.5. Ficheiros de Dados	11
2.6. Ficheiros de Resultados	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Situações analisadas	15
3.1.1. Sem mudança de ambiente térmico	16
3.1.2. Com mudança de ambiente térmico	17
3.1.3. Situações particulares	18
3.2. Ferramentas de Análise Comparativa.....	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1. Situações sem mudança de ambiente térmico	21
4.1.1. Indivíduo Nu	21
4.1.2. Indivíduo vestido	36
4.2. Situações com mudança de ambiente térmico	40
4.2.1. Indivíduo Nu	40
4.2.2. Indivíduo Vestido	52
4.3. Situações Particulares	57
4.3.1. Indivíduo Nu	57
4.3.2. Indivíduo Vestido	59
5 CONCLUSÕES	65
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXO A – NÍVEIS DE ATIVIDADE METABÓLICA.....	72
ANEXO B – DADOS DE ENTRADA	73

ANEXO C – SITUAÇÃO PARTICULAR.....	75
ANEXO D – SITUAÇÃO PARTICULAR.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Situações analisadas para indivíduos nus.....	16
Figura 3.2. Situações analisadas para indivíduos vestidos.....	17
Figura 4.1. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal, a temperatura média da pele e o calor produzido por pessoas expostas a um ambiente térmico extremamente frio com indivíduos nus.....	20
Figura 4.2. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura média da pele, a temperatura rectal, o calor produzido e o calor armazenado por pessoas expostas a um ambiente térmico muito frio antes de um curso de mergulhador com indivíduos nus.....	22
Figura 4.3. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura média da pele, a temperatura rectal, o calor produzido e o calor armazenado por pessoas expostas a um ambiente térmico muito frio depois de um curso de mergulhador com indivíduos nus.....	23
Figura 4.4. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal, temperatura média da pele e calor perdido por evaporação num ambiente térmico frio com indivíduos nus.....	24
Figura 4.5. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura da pele: das mãos, das cochas, dos pés, da cabeça, do tronco e dos braços; e a temperatura média da pele por pessoas expostas a um ambiente térmico de conforto com indivíduos nus.....	26
Figura 4.6. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal e temperatura média da pele por pessoas expostas a um ambiente térmico morno com indivíduos nus.....	27
Figura 4.7. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal e temperatura média da pele por pessoas expostas a um ambiente térmico ligeiramente quente com indivíduos nus.....	28
Figura 4.8. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal e temperatura média da pele por pessoas expostas a um ambiente térmico quente com indivíduos nus.....	30
Figura 4.9. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura média da pele: da cabeça e do tronco; a temperatura da pele dos braços, a temperatura média da pele, temperatura rectal e o calor perdido por evaporação por pessoas expostas a um ambiente térmico muito quente com indivíduos nus.....	31

Figura 4.10. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura média da pele, a temperatura do hipotálamo, a temperatura rectal e o calor produzido por pessoas expostas a ambientes térmicos de extremamente frio a extremamente quente com indivíduos nus.....	33
Figura 4.11. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura da pele: do escalpe e dos pés; e temperatura média da pele por pessoas expostas a um ambiente térmico extremamente frio com indivíduos vestidos.....	34
Figura 4.12. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura da pele: dos antebraços e dos braços por pessoas expostas a um ambiente térmico muito frio (A) e frio (B); para a temperatura média da pele; para a temperatura da pele: das costas e do peito por pessoas expostas a um ambiente térmico frio (C) e muito frio (D) com indivíduos vestidos.....	36
Figura 4.13. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura da pele: da testa, do peito, das cochas, das mãos, dos braços e dos pés; a temperatura média da pele, a temperatura rectal e o calor produzido por pessoas expostas a uma mudança súbita um ambiente morno para um ambiente extremamente frio com indivíduos nus.....	39
Figura 4.14. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal, a temperatura média do corpo, a temperatura média da pele e o calor produzido e armazenado num caso com uma mudança súbita de um ambiente morno para um muito frio com indivíduos nus.....	41
Figura 4.15. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal, a temperatura média da pele e p calor perdido por evaporação, num caso com mudança súbita de ambiente térmico frio para um muito quente com indivíduos nus.....	42
Figura 4.16. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal, temperatura média da pele e calor perdido por evaporação, numa mudança de ambiente térmico de ligeiramente quente para morno com indivíduos nus.	43
Figura 4.17. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal e temperatura média da pele numa mudança de ambiente térmico de morno para quente com indivíduos nus.....	44
Figura 4.18. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal, temperatura média da pele, calor produzido pelo metabolismo e calor perdido por evaporação numa mudança de ambiente térmico de muito quente para frio com indivíduos nus.....	46
Figura 4.19. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal, temperatura média da pele e calor perdido por evaporação numa	

mudança de ambiente térmico, de morno para extremamente quente com indivíduos nus..	47
Figura 4.20. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura da pele: do tronco, da cabeça, das mãos, das cochas, dos braços e dos pés; e temperatura média da pele numa mudança de ambiente térmico de morno, para temperatura de conforto regresso ao morno, depois para quente e acaba com um ambiente térmico morno, com indivíduos nus.....	49
Figura 4.21. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal; temperatura média: da pele e do corpo; temperatura da pele: do abdómen, dos antebraços, dos pés e das mãos numa mudança de ambiente térmico de conforto para extremamente frio com indivíduos vestidos a realizar atividades C, R1 ou R2.....	53
Figura 4.22. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura média da pele com mudança de ambiente térmico de morno para duas situações: A (28° C) e B (32° C) com indivíduos nus.....	54
Figura 4.23. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura média da pele e temperatura rectal num ensaio com mudança de atividade com indivíduos nus.....	56
Figura 4.24. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal num ensaio com mudança de atividade, com indivíduos vestidos num ambiente térmico extremamente quente (A) e ligeiramente quente (B).....	57
Figura 4.25. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal e temperatura média da pele num ensaio com indivíduos vestidos, num ambiente térmico extremamente frio dentro de um abrigo (A) e fora de um abrigo (B).....	59
Figura 4.25. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal, temperatura média da pele, temperatura da pele: dos pés e das mãos nos ensaios 30B, 10B, 30A e 10A.....	61
Figura A1. Relação entre a atividade exercida e o nível metabólico do corpo humano.....	70
Figura B1. Dados de entrada - características gerais da pessoa.....	71
Figura B2. Dados de entrada - características gerais da pessoas dos ambientes térmicos...	71
Figura B3. Dados de entrada - isolamento térmico do vestuário por secção do corpo humano.....	72
Figura B4. Dados de entrada - peso (massa) do vestuário por secção do corpo humano....	72
Figura C1. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal, temperatura média da pele e calor perdido por evaporação por pessoas expostas a ambientes térmicos de , com indivíduos nus.....	73

Figura D1. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) para a temperatura rectal num ensaio com mudança de atividade, com indivíduos nus num ambiente térmico ligeiramente quente.....74

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Níveis de temperatura analisados, classificados em termos de temperatura operativa.....	13
Tabela 4.1. Análise comparativa para ambiente térmico extremamente frio com indivíduos nus: temperatura rectal (T_{rectal}), temperatura média da pele (T_{sk}) e calor produzido (Q_{prod}).....	20
Tabela 4.2. Análise comparativa para ambiente térmico muito frio com indivíduos nus, antes do curso de mergulho: temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}), temperatura média do corpo (T_{body}), calor produzido (Q_{prod}) e calor acumulado (Q_{stored}).....	21
Tabela 4.3. Análise comparativa para ambiente térmico muito frio com indivíduos nus, depois do curso de mergulho: temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}), temperatura média do corpo (T_{body}), calor produzido (Q_{prod}) e calor acumulado (Q_{stored}).....	22
Tabela 4.4. Análise comparativa para ambiente térmico frio com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}) e calor perdido por evaporação (Q_{evap}).....	23
Tabela 4.5. Análise comparativa para ambiente térmico de conforto com indivíduos nus. Temperatura da pele: dos braços (T_{arms}), das mãos (T_{hands}), das coxas (T_{thighs}) e das pernas (T_{legs}).....	25
Tabela 4.6. Análise comparativa para ambiente térmico de conforto com indivíduos nus: temperatura da pele dos pés (T_{feet}), temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura média da pele: da cabeça (T_{head}) e do tronco (T_{trunk}).....	25
Tabela 4.7. Análise comparativa para ambiente térmico morno com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}) e temperatura rectal (T_{rectal}).....	27
Tabela 4.8. Análise comparativa para ambiente térmico ligeiramente quente com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}) e temperatura rectal (T_{rectal}).....	28
Tabela 4.9. Análise comparativa para ambiente térmico quente com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}) e temperatura rectal (T_{rectal}).....	29

Tabela 4.10. Análise comparativa para ambiente térmico muito quente com indivíduos nus: temperatura da pele das pernas (T_{legs}), temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura média da pele: da cabeça (T_{head}) e do tronco (T_{trunk}).....	30
Tabela 4.11. Análise comparativa para ambiente térmico muito quente com indivíduos nus: temperatura da pele dos braços (T_{arms}), temperatura rectal (T_{rectal}) e calor perdido por evaporação (Q_{evap}).....	31
Tabela 4.12. Análise comparativa para ambientes térmicos de extremamente frio a extremamente quente com indivíduos nus. Temperatura da pele: da testa ($T_{forehead}$), dos braços (T_{arms}), dos antebraços ($T_{forearms}$) e das mãos (T_{hands}).....	32
Tabela 4.13. Análise comparativa para ambientes térmicos de extremamente frio a extremamente quente com indivíduos nus. Temperatura da pele: das cochas (T_{thighs}), das pernas (T_{legs}) e dos pés (T_{feet}); e temperatura média da pele (T_{skin}).....	33
Tabela 4.14. Análise comparativa para ambientes térmicos de extremamente frio a extremamente quente com indivíduos nus: temperatura do hipotálamo (T_{hypot}), temperatura rectal (T_{rectal}) e calor produzido (Q_{prod}).....	33
Tabela 4.15. Análise comparativa para ambiente térmico extremamente frio com indivíduos vestidos. Temperatura da pele: do escalpe (T_{scalp}) e dos pés (T_{feet}); e temperatura média da pele (T_{skin}).....	35
Tabela 4.16. Análise comparativa para ambiente térmico muito frio com indivíduos vestidos. Temperatura da pele: da testa($T_{forehead}$), do peito(T_{chest}), das costas (T_{back}), dos braços (T_{arms}) e dos antebraços ($T_{forearms}$).....	37
Tabela 4.17. Análise comparativa para ambiente térmico muito frio com indivíduos vestidos. Temperatura média da pele (T_{skin}); Temperatura da pele: das mãos (T_{hands}), das cochas (T_{thighs}) e das pernas (T_{legs}).....	37
Tabela 4.18. Análise comparativa para ambiente térmico frio com indivíduos vestidos. Temperatura da pele: da testa($T_{forehead}$), do peito(T_{chest}), das costas (T_{back}), dos braços (T_{arms}) e dos antebraços ($T_{forearms}$).....	37
Tabela 4.19. Análise comparativa para ambiente térmico frio com indivíduos vestidos. Temperatura média da pele (T_{skin}); Temperatura da pele: das mãos (T_{hands}), das cochas (T_{thighs}) e das pernas (T_{legs}).....	37
Tabela 4.20. Análise comparativa para uma mudança entre um ambiente térmico morno e outro extremamente frio com indivíduos nus. Temperatura da pele: da teste ($T_{forehead}$), do peito (T_{chest}), dos braços (T_{arms}), dos antebraços ($T_{forearms}$), das mãos (T_{hands}) e das cochas (T_{thighs}).....	39
Tabela 4.21. Análise comparativa para uma mudança entre um ambiente térmico morno e outro extremamente frio com indivíduos nus. Temperatura da pele: das pernas	

(T_{legs}) e dos pés (T_{feet}); temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}) e calor produzido (Q_{prod}).....	39
Tabela 4.22. Análise comparativa para uma mudança entre um ambiente térmico morno e outro muito frio com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}), temperatura média do corpo (T_{body}), calor produzido (Q_{prod}) e calor armazenado (Q_{stored}).....	40
Tabela 4.23. Análise comparativa para uma mudança entre um ambiente térmico frio e outro muito quente com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}) e calor perdido por evaporação (Q_{evap}).....	42
Tabela 4.24. Análise comparativa para uma mudança entre um ambiente térmico morno e outro ligeiramente quente com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}) e calor perdido por evaporação (Q_{evap}).....	43
Tabela 4.25. Análise comparativa para uma mudança entre um ambiente térmico morno e outro quente com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}) e temperatura rectal (T_{rectal}).....	44
Tabela 4.26. Análise comparativa para uma mudança entre um ambiente térmico muito quente e outro frio com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}), calor produzido pelo metabolismo (Q_{metab}) e calor perdido por evaporação (q_{evap}).....	45
Tabela 4.27. Análise comparativa para uma mudança entre um ambiente térmico morno e outro extremamente quente com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}) e calor perdido por evaporação (Q_{evap}).....	47
Tabela 4.28. Análise comparativa para uma mudança entre ambiente térmico de conforto, um quente e outro morno, com indivíduos nus. Temperatura da pele: dos braços (T_{arms}), das mãos (T_{hands}), das cochas (T_{thighs}) e das pernas (T_{legs}).....	48
Tabela 4.29. Análise comparativa para uma mudança entre ambiente térmico de conforto, um quente e outro morno, com indivíduos nus. Temperatura da pele dos pés (T_{feet}); temperatura média: da pele (T_{skin}), da pele da cabeça (T_{head}) e da pele do tronco (T_{trunk}).....	48
Tabela 4.30. Atividade realizada em cada uma das diferentes condições da simulação.....	50
Tabela 4.31. Análise comparativa para uma mudança entre ambiente térmico extremamente frio e de conforto, com indivíduos vestidos. Temperatura da pele: do peito (T_{chest}), do abdómen (T_{adomen}), dos antebraços ($T_{forearms}$), das mãos (T_{hands}) e das pernas (T_{legs}) a realizar atividade C.....	51
Tabela 4.32. Análise comparativa para uma mudança entre ambiente térmico extremamente frio e de conforto, com indivíduos vestidos: temperatura da pele dos pés (T_{feet}), temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}) e temperatura média do corpo (T_{body}) a realizar atividade C.....	52

Tabela 4.33. Análise comparativa para uma mudança entre ambiente térmico extremamente frio e de conforto, com indivíduos vestidos. Temperatura da pele: do peito (T_{chest}), do abdómen (T_{adomen}), dos antebraços ($T_{forearms}$), das mãos (T_{hands}) e das pernas (T_{legs}) a realizar atividade R1.....	52
Tabela 4.34. Análise comparativa para uma mudança entre ambiente térmico extremamente frio e de conforto, com indivíduos vestidos: temperatura da pele dos pés (T_{feet}), temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}) e temperatura média do corpo (T_{body}) a realizar atividade R1.....	52
Tabela 4.35. Análise comparativa para uma mudança entre ambiente térmico extremamente frio e de conforto, com indivíduos vestidos. Temperatura da pele: do peito (T_{chest}), do abdómen (T_{adomen}), dos antebraços ($T_{forearms}$), das mãos (T_{hands}) e das pernas (T_{legs}) a realizar atividade R2.....	52
Tabela 4.36. Análise comparativa para uma mudança entre ambiente térmico extremamente frio e de conforto, com indivíduos vestidos: temperatura da pele dos pés (T_{feet}), temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}) e temperatura média do corpo (T_{body}) a realizar atividade R2.....	52
Tabela 4.37. Análise comparativa para mudança entre um ambiente térmico morno com A (28° C) e B (32° C), com indivíduos vestidos: temperatura média da pele (T_{skin}).....	55
Tabela 4.38. Variação da intensidade da atividade realizada pelos indivíduos ao longo do ensaio.....	55
Tabela 4.39. Análise comparativa para mudança de atividade em ambiente térmico muito frio, com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{skin}) e calor perdido por evaporação (Q_{evap}).....	56
Tabela 4.40. Variação da intensidade da atividade realizada pelos indivíduos no ambiente térmico extremamente quente.....	57
Tabela 4.41. Variação da intensidade da atividade realizada pelos indivíduos no ambiente térmico ligeiramente quente.....	58
Tabela 4.42. Análise comparativa para mudança de atividade em ambiente térmico extremamente quente (A) e ligeiramente quente (B), com indivíduos vestidos: temperatura rectal (T_{rectal}).....	58
Tabela 4.43. Análise comparativa em ambiente térmico extremamente frio, com indivíduos vestidos: temperatura rectal (T_{rectal}) e temperatura média da pele (T_{skin}) dentro (A) e fora de um abrigo (B).....	59
Tabela 4.44. Análise comparativa com indivíduos vestidos: temperatura rectal (T_{rectal}), temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura da pele: dos pés (T_{feet}) e das mãos (T_{hands}) para o ensaio 30B.....	62
Tabela 4.45. Análise comparativa com indivíduos vestidos: temperatura rectal (T_{rectal}), temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura da pele: dos pés (T_{feet}) e das mãos (T_{hands}) para o ensaio 30A.....	62

Tabela 4.46. Análise comparativa com indivíduos vestidos: temperatura rectal (T_{rectal}), temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura da pele: dos pés (T_{feet}) e das mãos (T_{hands}) para o ensaio 10B.....	62
Tabela 4.47. Análise comparativa com indivíduos vestidos: temperatura rectal (T_{rectal}), temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura da pele: dos pés (T_{feet}) e das mãos (T_{hands}) para o ensaio 10A.....	62
Tabela C1. Análise comparativa para ambientes térmicos de conforto a extremamente quente com indivíduos nus, temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}) e calor perdido por evaporação (q_{evap}).....	73
Tabela D1. Análise comparativa para mudança de atividade em ambiente térmico ligeiramente quente com indivíduos nus: temperatura rectal (T_{rectal}).....	74

SIMBOLOGIA

Símbolo	Significado	Unidades
A	Área de transferência de calor	[m ²]
A_{sk}	Área da pele	[m ²]
B	Troca de calor entre um nodo do corpo humano e o compartimento sanguíneo central	[W]
B_f	Percentagem de gordura corporal	[%]
$Cond_1$	Perda de calor por condução dum nodo para o vestuário	[W]
$Cond_2$	Perda de calor por condução dum nodo por contacto direto com superfícies externas	[W]
$Conv$	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	Calor específico de um nodo do corpo humano	[J/kg °C]
DQM	Desvio quadrático médio das diferenças relativas	-
DT_{evol}	Taxa de variação de temperatura num nodo	[°C/s]
E_{signal}	Sinal de erro proporcional á sensação de frio ou de calor	[°C]
$F_{correção}$	Factor de correção do isolamento térmico do vestuário	-
F_{cl}	Factor de correção de área devido ao vestuário	-
F_{pcl}	Factor de eficiência de permeabilidade do vestuário	-
h	Altura dos indivíduos	[m]
h_{conv}	Coefficiente de transferência de calor por convecção	[W/m ² °C]
h_{rad}	Coefficiente de transferência de calor por radiação	[W/m ² °C]
HR	Humidade relativa	[%]
I_{cl}	Resistência térmica intrínseca do vestuário num segmento do corpo (não incluindo o I_a) (1 clo = 0,155m ² °C/W)	[clo]
$I_{cl,cor}$	Resistência térmica intrínseca “corrigida” do vestuário	[clo]
$I_{cl,global}$	Valor global da resistência térmica intrínseca do vestuário	[clo]
i_{vp}	Coefficiente de permeabilidade ao vapor do vestuário	-

M	Intensidade da atividade realizada pelo indivíduo (1 met = 58,15 W/m ² de pele)	[met]
M_t	Taxa metabólica de geração de calor	[W/m ²]
m_b	Massa do sangue	[kg]
m_{Clo}	Massa do vestuário	[kg]
m	Massa dum nodo do corpo humano	[kg]
MB	Metabolismo basal num nodo	[W]
n	Número total de valores em estudo	-
P_a	Pressão parcial de vapor no ar ambiente	[Pa]
P_{sk}	Pressão parcial de vapor na superfície da pele	[Pa]
$Persp$	Perda de calor por perspiração	[W]
Q_a	Energia acumulada num nodo	[W]
Q_e	Energia que entra num nodo	[W]
Q_{evap}	Calor global perdido pelo corpo humano por evaporação	[W]
q_{evap}	Calor global perdido pelo corpo humano por evaporação (por unidade de área de pele)	[W/m ²]
$Q_{j,i}$	Calor transferido por condução do nodo j para o nodo i	[W]
Q_{loss}	Calor global perdido pelo corpo humano (por todos os mecanismos e por unidade de área de pele)	[W/m ²]
Q_{metab}	Calor global produzido pelo metabolismo humano (por unidade de área de pele)	[W/m ²]
Q_{prod}	Calor global produzido pelo corpo humano (por todos os mecanismos e por unidade de área de pele)	[W/m ²]
Q_s	Energia que sai num nodo	[W]
Q_{stored}	Calor global acumulado no corpo humano	[kJ/kg]
r	Coefficiente de correlação de <i>Pearson</i>	-
Rad_1	Transferência de calor por radiação infravermelha com ambientes e temperatura conhecidos	[W]
Rad_2	Transferência de calor por fluxo radiativo de uma fonte específica	[W]
R_e	Resistência ao vapor do vestuário	[m ² Pa/W]
$Resp$	Perda de calor por respiração	[W]
Sh	Produção de calor por tremuras num nodo	[W]

SR_{sens}	Sensibilidade dinâmica dos termo-receptores de um nodo	[s]
Sw	Perda de calor por transpiração num nodo	[W]
t	Tempo	[s]
T	Temperatura dum nodo (excepto sangue)	[°C]
T_{ar}	Temperatura do ar ambiente (ou de outro fluido)	[°C]
$T_{abdomen}$	Temperatura da pele do abdómen	[°C]
T_{arms}	Temperatura da pele dos braços	[°C]
T_{back}	Temperatura da pele das costas	[°C]
T_{blood}	Temperatura do sangue	[°C]
T_{chest}	Temperatura da pele do peito	[°C]
T_{clo}	Temperatura média do vestuário num segmento do corpo	[°C]
T_{body}	Média global ponderada da temperatura do corpo humano	[°C]
$T_{clo,ext}$	Temperatura média da face exterior do vestuário	[°C]
T_{evol}	Taxa de evolução da temperatura num nodo	[°C]
T_{face}	Temperatura da pele da face	[°C]
T_{feet}	Temperatura da pele dos pés	[°C]
T_{finger}	Temperatura da pele dos dedos das mãos	[°C]
$T_{forearms}$	Temperatura da pele dos antebraços	[°C]
$T_{forehead}$	Temperatura da pele da testa	[°C]
T_{hands}	Temperatura da pele das mãos	[°C]
T_{head}	Temperatura média da pele da cabeça [= 0.5 ($T_{face} + T_{scalp}$)]	[°C]
T_{hypot}	Temperatura do hipotálamo	[°C]
T_{legs}	Temperatura da pele das pernas	[°C]
T_{mr}	Temperatura média radiante	[°C]
T_{op}	Temperatura operativa da envolvente	[°C]
T_p	Temperatura profunda do corpo humano	[°C]
T_{rectal}	Temperatura rectal	[°C]
T_{scalp}	Temperatura da pele do escalpe (couro cabeludo)	[°C]
T_{set}	Temperatura objectivo (de equilíbrio térmico) num nodo	[°C]
T_{sk}	Temperatura da pele de um nodo (se aplicável)	[°C]

T_{skin}	Média global ponderada da temperatura da pele	[°C]
T_{thighs}	Temperatura da pele das coxas	[°C]
T_{toe}	Temperatura da pele dos dedos dos pés	[°C]
T_{trunk}	Temperatura média da pele do tronco [= 0.5 ($T_{chest} + T_{back}$)]	[°C]
TR_{sens}	Sensibilidade dinâmica do receptor térmico dum nodo	[°C]
U_{cl}	Condutância térmica do vestuário	[W/m ²]
v_a	Velocidade do ar (pessoa parada)	[m/s]
v_{ar}	Velocidade do ar relativamente à pessoa	[m/s]
We	Produção de calor por realização de trabalho externo	[W]
Wi	Produção interna de calor por tremores musculares	[W]
w	Massa corporal dos indivíduos	[kg]
x_i	Valores medidos	-
\bar{x}	Média aritmética dos valores medidos	-
y_i	Valores previstos	-
\bar{y}	Média aritmética dos valores previstos	-
δ	Média das diferenças relativas entre valores medidos e previstos	-
Δt	Intervalo de tempo	[s]
ε	Emissividade do vestuário ou superfície exterior da pele	-
σ	Desvio padrão das diferenças relativas entre valores medidos experimentalmente e previstos pelo programa	-

SIGLAS

Sigla	Significado
DEM	Departamento de Engenharia Mecânica
FCTUC	Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
NASA	National Aeronautics and Space Administrations
UC	Universidade de Coimbra

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Os programas de simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano têm vindo ao longo dos anos a ganhar importância em áreas distintas.

A qualidade de ar interior, sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), entre outros factores que tenham como fim melhorar o conforto no interior de edifícios, têm vindo a tornar-se cada vez mais importantes. Nos países desenvolvidos as pessoas passam a maioria do seu tempo no interior de edifícios, o que leva a que as preocupações a nível do conforto sejam cada vez maiores. No que diz respeito à sua identificação e optimização, o conforto térmico não só melhora a vida das pessoas como também a produtividade na execução de trabalhos.

Outro aspecto em que a simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano é importante é para ajudar a melhorar a eficiência na execução de práticas desportivas, fazendo assim com que os atletas passem a ter melhor rendimento e evitar situações de colapso ou de stresse térmico. Tendo em conta que muitas vezes os atletas são sujeitos a temperaturas muito elevadas e também muitas baixas, há que saber que comportamentos devem ter antes e após a competição para evitar danos e obter uma melhor performance.

Para execução de certas atividades, muitas vezes é necessário elaborar protocolos, os programas de simulação também têm um papel bastante importante na elaboração dos mesmos.

Podemos também avaliar situações de risco associadas a condições extremas de frio ou calor, não só em atividades desportivas como já referi anteriormente, mas em qualquer tipo de trabalho. Assim quantifiquemos também os níveis de stresse térmico por hipertermia ou hipotermia.

Este tipo de programa pode ser também uma ferramenta muito útil no planeamento de atividades médicas ou de outra natureza, que envolvam níveis elevados de esforço, por exemplo.

No meio disto é importante referir que os programas de simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano, não expõem pessoas a situações de risco.

1.2. Revisão Bibliográfica

Segundo Tanabe *et al.* (2002) os mecanismos de termorregulação atuam através de sinais de frio e de calor e subsequente reação ao frio e ao calor. A dilatação dos vasos sanguíneos (vasodilatação) e a transpiração no caso de calor, a contração dos vasos sanguíneos (vasoconstrição) e as tremuras no caso de frio são os mecanismos do corpo humano que respondem às solicitações térmicas extremas. Para saber que mecanismos vão atuar e com que intensidade, é necessário saber quais são os sinais de frio e de calor, determinando-os. As trocas de calor são feitas através da respiração, da corrente sanguínea, por condução, por convecção e por radiação. As trocas de calor entre o corpo e o exterior acontecem por convecção, radiação, evaporação de suor (incluindo perspiração) e através da respiração. A nível interior temos as trocas de calor entre o compartimento central de sangue e cada uma das camadas de cada parte do corpo humano e a condução de calor entre as outras camadas do corpo humano.

O sistema de termorregulação humano responde à dinâmica ambiental no sentido de manter a temperatura do núcleo central do corpo dentro de uma determinada gama de valores. O estudo e desenvolvimento de modelos matemáticos capazes de modelar o fenómeno da termorregulação humana começou a ser feito há cerca de 60 anos. Ao longo deste período vários modelos foram desenvolvidos para o corpo humano vivo. O modelo que foi mais intensivamente usado foi o criado por Stolwijk (1971) e que tem vindo a ser melhorado, refinado e desenvolvido por outros, por exemplo Konz *et al.* (1977), Wissler (1985), Huizenga *et al.* (2001), Tanabe *et al.* (2002).

Os modelos termofisiológicos têm sido utilizados fundamentalmente em estudos de conforto térmico em ambientes a temperaturas térmicas moderadas. No caso da exposição do corpo humano a ambientes frios, temos de destacar o trabalho de Huizenga *et al.* (2001) que fez a validação do seu modelo de termorregulação de 16 segmentos, comparando os resultados simulados pelo mesmo com outros estudos feitos por outros investigadores, nomeadamente com os resultados experimentais para a temperatura do

corpo humano obtidos por Raven e Horath (1970). Os mesmos resultados experimentais foram também usados por Fiala (2001) para validar o seu modelo de 15 segmentos.

Somente um escasso número de investigadores utiliza modelos de termorregulação para avaliar o comportamento termofisiológico do corpo humano quando exposto a altas temperaturas. Deve-se referenciar o estudo feito por Richards e Fiala (2004) onde se obtiveram os resultados para um homem vestindo roupa de proteção térmica a combater incêndios, situação que se obteve com um modelo termofisiológico do corpo humano de multi-nodos.

Existe um vasto trabalho envolvendo estudos de simulação da resposta térmica do corpo humano, o funcionamento do sistema respiratório e cardiovascular. E foi estabelecido que existe uma relação direta entre estes mecanismos.

1.3. Objectivos

Pretende-se com este trabalho testar e validar um programa de simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano, o programa *Huthereg*. Tem-se como objectivo encontrar os seus pontos fortes e fracos, as suas limitações e testar a sua fiabilidade. Para isso serão analisados vários casos relatados na bibliografia científica, com comparação dos resultados experimentais daí retirados com os correspondentes previstos pelo programa.

Selecionaram-se ambientes térmicos que vão desde extremamente quente a extremamente frio, com diferentes tipos de vestuário (desde nu a vestuário de proteção térmica), para diferentes tipos de atividade (de repouso a desportos de alta competição), assim como diferentes tipos de exposição, incluindo permanência num ambiente térmico estável e também mudanças bruscas com elevadas amplitudes térmicas.

Como ferramentas auxiliares na avaliação do nível de conformidade entre os resultados experimentais retirados da bibliografia e os previstos pelo programa utilizaram-se as funções estatísticas média aritmética das diferenças relativas (e respectivo desvio padrão), desvio quadrático médio e o coeficiente de correlação de *Pearson*. Adicionalmente foi ainda efectuada uma avaliação com recurso a gráficos.

2. MODELO DE TERMORREGULAÇÃO DO CORPO HUMANO

2.1. Descrição Geral do Programa *Huthereg*

O programa *Huthereg* foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, pelo Prof. António Raimundo, e tem sido utilizado em vários trabalhos de pesquisa e desenvolvimento (Raimundo e Figueiredo 2006, Raimundo *et al.* 2008, Raimundo e Figueiredo 2009). Este programa é baseado no modelo que Stolwijk desenvolveu para a NASA com a finalidade de fazer a simulação numérica da resposta térmica transiente das pessoas com recurso ao modelo de termorregulação do corpo humano.

O modelo para a simulação do comportamento termofisiológico do corpo humano que o programa *Huthereg* utiliza é baseado no modelo de termorregulação de Stolwijk (1971), melhorado com recurso a posteriores descobertas relatadas na bibliografia científica (por exemplo Konz *et al.* 1977; Fiala *et al.* 1999; Fiala *et al.* 2001; Huizenga *et al.* 2001; Tanabe *et al.* 2002). Em termos genéricos, como qualquer outro modelo de termorregulação humana, o algoritmo de cálculo assenta em duas componentes, uma passiva e outra ativa. Em termos térmicos, os vários nodos da componente passiva trocam calor entre si e com a envolvente sem qualquer reação a eventuais evoluções para condições térmicas desfavoráveis. A reação a evoluções adversas cabe à componente ativa do modelo.

O modelo de 89 nodos implementado no programa *Huthereg* considera o corpo humano dividido em 22 segmentos (face, escalpe (couro cabeludo), 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 pé direito). Supostamente cada um desses segmentos é composto por 4 camadas (núcleo, músculo, gordura e pele) perfazendo assim os 88 nodos. O 89º nodo é o compartimento sanguíneo central, o qual troca calor com todos os outros nodos através da circulação sanguínea que ocorre através das veias, artérias e vasos capilares.

O calor perdido devido à respiração é formado por uma componente sensível e outra latente e a sua influência faz-se sentir nos vários órgãos do trato respiratório. Para efetuar a sua afectação são seguidos os coeficientes de repartição propostos por Fiala *et al.* (1999), com o calor perdido devido à respiração a ser imputado em 20% ao núcleo da face, 25% aos músculos da face, 25% à banda muscular do pescoço e 30% ao núcleo do peito (pulmões e restantes órgãos).

A componente ativa do modelo assenta nos impulsos nervosos emitidos pelos sensores térmicos que estão inseridos na pele e nos órgãos profundos do corpo, que enviam a informação de cada nodo até ao sistema de controlo, sendo depois essa informação traduzida em comandos.

O modelo foi concebido para um individuo de 1,72 m de altura; 74,43 kg de massa corporal e com 14% de gordura corporal, logo 1,869 m² de área da pele. Para dados antropométricos diferentes, os coeficientes apropriados são proporcionalmente alterados em função da massa corporal, da área da pele e da gordura corporal.

O algoritmo global assenta num cálculo iterativo no interior de cada intervalo de tempo simulado e que, de modo a garantir estabilidade de cálculo, tem de ser suficientemente pequeno. A simulação para cada instante assenta no estado termofisiológico do corpo humano no instante anterior e na modelação de: (i) resposta termofisiológica do corpo humano; (ii) funções respiratória e cardiovascular; (iii) transporte de calor e humidade através do vestuário; (iv) trocas de calor por condução, convecção e radiação e de vapor de água entre a superfície exterior do vestuário (ou da pele) com ambiente e com as superfícies e os elementos; (v) quantificação e análise do conforto térmico sentido pela pessoa ou estimativa do stresse térmico (hipotérmico ou hipertérmico), consoante o caso aplicável; (vi) modelação de eventual evolução de dor e lesões da pele (por queimadura térmica); e (vii) detenção de situações de risco (introversão, colapso térmico, danos cerebrais permanentes e morte).

O transporte de calor e de humidade através do vestuário é contabilizado utilizando os modelos descritos por Havenith *et al.* (2002) e na norma ISO 9920 (2007). Estes modelos são aplicados a cada um dos 22 segmentos em que supostamente é considerado dividido o corpo humano. Isto requer que sejam fornecidos ao programa, em cada “fase”, as características do vestuário em cada um dos 22 segmentos, nomeadamente em termos de do isolamento térmico intrínseco (I_{cl}), massa (m_{clo}), calor específico (cp_{clo}), permeabilidade

ao vapor (i_{vp}) e emissividade radiativa (ϵ). Cada segmento é considerado completamente vestido ou nu. De modo a considerar a redução de isolamento térmico devida ao movimento do corpo humano, o valor de cada I_{cl} é ajustado de acordo com o nível de atividade física da pessoa usando para isso as relações propostas por Oliveira *et al.* (2011).

A transferência de calor por convecção é modelada recorrendo a correlações empíricas. No caso de convecção naturais utilizam-se as obtidas por Quintela *et al.* (2004) a partir de medições com um termo-manequim. No caso de convecção forçada as sugeridas por Havenith *et al.* (2002). As efetivas de radiação térmica e os factores de absorção de Gebhart, necessários para o cálculo das componentes radiativas em cada segmento do corpo humano, são determinadas através de um conjunto de relações estabelecidas utilizando um programa implementado por Raimundo *et al.* (2004) e em que estão previstas expressões válidas para uma pessoa de-pé, para sentada e para deitada em posição supina ou em ventral.

2.2. Modelo Termofisiológico – Componente Passiva

2.2.1. Modelação térmica do corpo humano

A evolução temporal da temperatura (T) em cada nodo i do corpo humano (excepto no comportamento sanguíneo central) é obtida através da seguinte equação (Raimundo e Figueiredo, 2008):

$$m \, cp \, \frac{\delta T}{\delta t} = \sum_{j=1}^{88} Q_{j,i} + MB + Wi - We + Sh - B - Resp - Persp - Sw - Cond_1 - Cond_2 - Conv - Rad_1 - Rad_2 \quad (2.1)$$

onde m e cp são a massa e o calor específico de cada nodo, respectivamente. O termo ($Q_{j,i}$) representa o calor recebido por condução a partir dos nodos adjacentes. A taxa de produção de calor é expressa pelo resultado do metabolismo basal (MB), do trabalho interno (Wi), do trabalho externo ou movimento (We) e das tremuras musculares (Sh). As trocas de calor entre o compartimento sanguíneo central (nodo 89) e cada um dos restantes 88 nodos, promovidas pela circulação do sangue, são contabilizadas via termo B . A perda de calor por respiração ($Resp$) é composta por uma parte latente e outra sensível e é suposto ocorrer unicamente nos segmentos que compõe o compartimento respiratório. O calor perdido por evaporação da humidade presente na superfície da pele tem duas

componentes, a perspiração ($Persp$) e a transpiração (Sw), ambas em função das propriedades do vestuário, do estado térmico do indivíduo e da pressão parcial de vapor de água no ambiente e na superfície da pele. Na superfície da pele, o calor sensível é perdido (ou ganho) por condução para a roupa ($Cond_1$) e por contacto direto das partes nuas com superfícies externas ($Cond_2$). As trocas de calor por convecção e por radiação na face exterior do vestuário (ou na pele no caso de segmentos nus) são contabilizadas através dos termos $Conv$ que representa a convecção com o ar ambiente, por Rad_1 a radiação infravermelho com as superfícies envolventes (ou o céu frio) e por Rad_2 a radiação térmica com uma fonte específica (o sol, um incêndio, etc.).

O balanço térmico no compartimento de sangue central, representativo das trocas de calor entre este nodo e todos os restantes, é representado pela seguinte expressão (Raimundo e Figueiredo, 2008):

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

onde m_b e cp_b representam a massa e o calor específico do sangue que circula pelo corpo humano, respectivamente.

2.2.2. Temperatura da superfície exterior do vestuário

Não existindo uma equação explícita que permita determinar de modo direto a temperatura na face exterior do vestuário ($T_{clo,ext}$), é necessário recorrer em cada intervalo de tempo a um processo iterativa para determinar esta temperatura nos segmentos vestidos do corpo humano. Nos segmentos nus isto não é necessário visto que se assume que a temperatura na face exterior do vestuário (que não existe) é igual à da pele nesse segmento. As expressões utilizadas no decurso do processo iterativo foram deduzidas a partir de um balanço térmico ao volume de controlo correspondente ao vestuário de cada segmento do vestido e que incluiu o fluxo de calor que entra (Q_e), o fluxo de calor que sai (Q_s) e o fluxo de calor acumulado (Q_a). O calor acumulado num segmento genérico do corpo humano pode ser expresso como

$$Q_a = m_{clo} cp_{clo} (T_{clo}^N - T_{clo}^P) \quad (2.3)$$

em m_{clo} representa a massa do vestuário, cp_{clo} o seu calor específico, T_{clo}^P a temperatura média do vestuário num instante qualquer P passado e T_{clo}^N a mesma temperatura mas no

instante presente. O instante passado ($t = P$) está separado do instante presente ($t = N = P + \Delta t$) pelo intervalo de tempo Δt .

Conhecidos os valores no instante passado, o processo iterativo que irá conduzir à determinação da temperatura na face exterior do vestuário de um segmento do corpo humano no instante presente ($T_{clo,ext}^N$) inicia-se com o cálculo do fluxo de calor sensível que sai desse segmento para o ambiente

$$Q_s = Cond_1 + Cond_2 + Conv + Rad_1 + Rad_2 \quad (2.4)$$

Segue-se a determinação do fluxo de calor sensível que entra neste mesmo segmento, o qual é determinado a partir do conhecimento no instante presente ($t = N = P + \Delta t$) da temperatura da pele (T_{sk}^N) e da previsão anterior para a temperatura da face exterior do vestuário ($T_{clo,ext}^N$), vindo

$$Q_e = \frac{A (1 + F_{cl}) (T_{sk}^N - T_{clo,ext}^N)}{2 I_{cl,corrigido}} \quad (2.5)$$

$$I_{cl,corrigido} = I_{cl} F_{correção} \quad (2.6)$$

em que A representa a área da pele do segmento do corpo humano em questão, F_{cl} o factor de correção de área devido ao vestuário, I_{cl} a resistência térmica intrínseca do vestuário (pessoa parada) e $F_{correção}$ o factor de correção do isolamento térmico do vestuário devido ao movimento da pessoa.

Agora, é possível determinar a temperatura média do vestuário no instante presente através da seguinte expressão

$$T_{clo}^N = \frac{Q_e \Delta t - Q_s \Delta t}{m_{clo} cp_{clo}} + T_{clo}^p \quad (2.7)$$

Embora se esteja já em condições de determinar diretamente a temperatura na face exterior do vestuário do segmento do corpo humano neste instante ($T_{clo,ext}^N$), ela é obtida em dois passos. Isto permite introduzir um coeficiente de sub-relaxação (neste caso de 90%) e assim garantir a estabilidade de cálculo. Primeiro determina-se uma estimativa sem sub-relaxação, designada aqui por $T_{clo,ext}^n$, seguindo-se uma sub-relaxação usando para isso o valor previsto na iteração anterior para a temperatura na face exterior do vestuário, designada por $T_{clo,ext}^a$. Ou seja,

$$T_{clo,ext}^n = 2 \cdot T_{clo}^N - T_{sk}^N \quad (2.8)$$

$$T_{clo,ext}^N = 0,1 \cdot T_{clo,ext}^n + 0,9 \cdot T_{clo,ext}^a \quad (2.9)$$

Finalmente determina-se a variação da variável objectivo entre duas iterações sucessivas

$$\text{Variação} = |T_{clo,ext}^N - T_{clo,ext}^a| \leq 10^{-6} \quad (2.10)$$

No caso de para todos os 22 segmentos em que supostamente se divide o corpo humano se verificar a condição expressa na equação anterior o processo é considerado convergido, estando-se em condições de continuar com a simulação. Em caso contrário é realizada uma nova iteração, a qual se inicia com o passo representado pela equação (2.4). Para evitar ciclos intermináveis o número de iterações é limitado a 100. Neste caso o cálculo continua mas é produzida uma mensagem de erro.

2.3. Modelo Termofisiológico – Componente Ativa

Quer os mecanismos que atuam para fazer face às solicitações térmicas quer a intensidade com que operam depende dos valores locais e integrais dos sinais de frio e de calor sentidos pelos termo-receptores distribuídos pelo corpo humano. Estes mecanismos são a transpiração e a vasodilatação (dilatação dos vasos capilares) como resposta a uma sensação de excesso de calor acumulado e as tremuras musculares e a vasoconstrição (contração dos vasos capilares) como resposta a uma sensação de frio.

Numa situação de calor, a vasodilatação faz com que os vasos capilares dilatem, o que faz com que o sangue circule mais próximo da superfície da pele, o que possibilita assim que possa haver uma maior perda de calor para o exterior. Por sua vez, a transpiração faz com que o corpo perca calor através da evaporação do suor presente na superfície da pele. Como o calor necessário à evaporação é retirado do líquido remanescente em contacto com a pele, este arrefece levando ao arrefecimento das camadas exteriores do corpo.

Numa situação de frio, a vasoconstrição faz contrair os vasos capilares, obrigando o sangue a atuar mais distante da superfície da pele, e assim dificultando a perda de calor para o exterior. Outro mecanismo de produção interna de calor são as tremuras, que atuam através da contração e distensão não-controlada dos músculos.

Os sinais provenientes dos termo-receptores distribuídos pelo corpo humano são transmitidos ao sistema de controlo central, localizado no cérebro humano. A partir destes e de uma integração dos mesmos são emitidas ordens que vão desencadear os mecanismos ativos de resposta a desequilíbrios térmicos. A simulação matemática deste mecanismo é efectuada pressupondo que é viável determinar em cada nodo do modelo um “sinal de

erro” (E_{signal}), o qual é proporcional à sensação de frio ou de calor nesse nodo. O valor desse “sinal de erro” para um nodo genérico i , pode ser obtido através da seguinte equação (Tanabe *et al.*, 2002, Rossa e Cardoso, 2004)

$$E_{signal} = (T_i - T_{set,i}) + SR_{sens,i} DT_{evol,i} \quad (2.11)$$

em que T_i representa a temperatura do nodo em questão, $T_{set,i}$ a sua temperatura objectivo (ou seja, a temperatura de equilíbrio térmico desse nodo), $SR_{sens,i}$ a sensibilidade dinâmica dos termo-receptores desse nodo e $DT_{evol,i}$ a taxa de variação da temperatura no nodo. Conforme é reconhecido por Tanabe *et al.* (2002), trata-se de uma aproximação grosseira merecedora de ser melhorada.

Em termos de interpretação, os sinais de erro positivos são representativos de excesso de calor acumulado no nodo e os sinais de erro negativos como indicadores de sensação de frio. A correspondente intensidade é assumida diretamente proporcional ao valor numérico do “erro”. A partir dos valores locais do erro e da sua integração global apropriada, o sistema responsável pelo controlo térmico emite comandos aos diversos órgãos e sistemas aferentes que vão desencadear os mecanismos ativos de controlo da temperatura do corpo humano (Magalhães *et al.*, 2001).

2.4. Modelo Termofisiológico – Incremento de Tempo

Para a realização do cálculo da evolução da temperatura em cada nodo ao longo do tempo, é necessário considerar um incremento de tempo (Δt). Por outro lado, é conveniente assegurar que em cada Δt a temperatura não ultrapasse uma determinada variação admissível (V_{adm}), pois, caso esse valor seja ultrapassado, cria-se instabilidade no cálculo.

Para calcular este intervalo de tempo (Δt) o programa *Huthereg* analisa os 88 nodos nos quais supostamente o corpo humano está dividido e verifica em qual deles se registou a maior evolução térmica, designada aqui por $T_{evo,max}$. O valor de Δt a aplicar no próximo “passo de tempo” é, então, o que resulta da expressão

$$\Delta t = \left\lfloor \frac{V_{adm}}{T_{evo,max}} \right\rfloor \quad (2.12)$$

Quanto mais baixo for o valor imposto para V_{adm} mais preciso e mais estável é o cálculo, mas, por outro lado maior é o tempo de cálculo necessário. Após vários testes preliminares chegou-se à conclusão que é suficiente impor $V_{adm} = 10^{-4}$ °C/s. Adicionalmente, e para que

o cálculo não desestabilize, é necessário garantir um valor de cada Δt suficientemente pequeno. Por tentativa e erro constatou-se que impor $\Delta t < 0,01$ segundos é suficiente.

2.5. Ficheiros de Dados

A versão do programa *Huthereg* que está a ser testada em termos de aplicabilidade, de fiabilidade e de precisão de resultados é a mais recente, a 3.50 de 02-04-2012.

Este programa está preparado para que cada simulação possa envolver até 20 cenários sucessivos diferentes, designados por “fases”. Cada “fase” é caracterizada por um ambiente térmico específico e por determinadas especificidades em termos de atividade da pessoa, do vestuário que usa, de comida que ingere (ou expele) e do modo como troca calor com a envolvente. É assumido que a transição de uma fase para a seguinte ocorre de um modo instantâneo, o que poderá não ser muito realista.

A introdução de dados é efectuada através de um conjunto de ficheiros, que o programa lê sempre que necessário. Todos estes ficheiros têm o mesmo “nome base”, distinguindo-se pela “extensão”. O primeiro ficheiro de dados a ser lido (*.p00) contém a informação geral sobre a simulação a efetuar e sobre a pessoa (altura, peso, etc.). Seguem-se um ficheiro por cada uma das “fases” a considerar (*.p01, *.p02, ..., *.p20), não sendo, obviamente, necessário preparar ficheiros de dados para as fases que não existem.

Nos ficheiros de dados relativos a cada uma das fases tem de constar informação suficiente para que a mesma possa ser simulada, nomeadamente: (i) caracterização do ambiente térmico (fluido envolvente que pode ser ar ou água, temperatura do fluido envolvente, temperatura média radiante das superfícies envolventes, humidade relativa do ar ambiente, velocidade do fluido, radiação térmica incidente de uma fonte específica, etc.); (ii) descrição da atividade desenvolvida pela pessoa nessa fase (atividade metabólica seguindo os níveis apresentados no Anexo A, postura, orientação face às fontes térmicas, ingestão de alimentos, etc.); (iii) caracterização do vestuário (que cobre cada um dos 22 segmentos do corpo humano (peso, calor específico, resistência térmica intrínseca, coeficiente de permeabilidade ao vapor, emissividade da superfície exterior) ou então caracterização da superfície da pele dos segmentos nus; e (iv) seleção dos algoritmos de determinação dos coeficientes de transmissão de calor por convecção e por radiação entre a pessoa e o ambiente (estão disponíveis 5 alternativos para cada um dos casos).

Apresenta-se no Anexo B uma listagem da informação que é necessário compilar

para poder preencher os ficheiros de dados relativos a cada situação a simular.

2.6. Ficheiros de Resultados

No decurso da simulação de cada caso, o programa gera 4 ficheiros de resultados, os quais partilham o mesmo “nome base” com os ficheiros de dados. Cada um dos ficheiros de resultados é identificado pela sua extensão, a qual são: *.res, *.tsk, *.grl, *.flx.

O ficheiro com a extensão “res” contem as informações gerais sobre o cálculo e pode ser aberto com *Notepad*, *Wordpad* ou *Word*. Neste ficheiro são gravados os dados, resultados globais e específicos nos instantes previamente seleccionados, controlo da evolução do cálculo e mensagens de erro.

Os ficheiros com as extensões “tsk”, “grl” e “flx” são para abrir com programas do tipo Microsoft *Excel*, com os quais se pode proceder à análise de resultados através da realização de gráficos e da eventual análise estatística. O ficheiro de extensão “tsk” contem a evolução temporal das temperaturas da pele, ou seja a temperatura média, a máxima e a mínima e ainda a temperatura da pele de cada uma partes do corpo, da face aos pés. O ficheiro de extensão “grl” contem as temperaturas internas do corpo, tal como a temperatura rectal, temperatura média do corpo, temperatura do sangue, do hipotálamo, etc, e ainda outros parâmetros, como por exemplo a temperatura da roupa. Por fim o ficheiro de extensão “flx” apresenta os fluxos de calor do corpo humano, tais como o calor perdido por perspiração, suor e respiração, o calor produzido por tremuras musculares, o calor acumulado, etc.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para validar o programa em estudo foi feita a simulação de situações com indivíduos nus e vestidos, com e sem mudança de ambiente térmico, com alto e baixo nível de atividade e com temperaturas para o ambiente que vão de extremamente frio a extremamente quente. De realçar que se designam como nuas as pessoas vestidas apenas com calções, não existindo na bibliográfica consultada resultados que envolvam indivíduos completamente nus.

Apresentam-se na Tabela 3.1 os níveis de temperatura analisados, classificados em termos da temperatura operativa (T_{op}) da envolvente, a qual é determinada pelo próprio programa a partir da temperatura do ar ambiente (T_{ar}), da temperatura média radiante da envolvente (T_{mr}) e dos respectivos coeficientes de transferência de calor por convecção (h_{conv}) e por radiação (h_{rad}).

Tabela 3.1. Níveis de temperatura analisados, classificados em termos de temperatura operativa.

Níveis térmicos		T_{op} (°C)
Extremamente Frio	EF	$-30 \leq T_{op} < 5$
Muito Frio	MF	$6 \leq T_{op} < 12$
Frio	F	$13 \leq T_{op} < 18$
Conforto	C	$19 \leq T_{op} < 23$
Morno	M	$24 \leq T_{op} < 31$
Ligeiramente Quente	LQ	$32 \leq T_{op} < 36$
Quente	Q	$37 \leq T_{op} < 41$
Muito Quente	MQ	$42 \leq T_{op} < 46$
Extremamente Quente	EQ	$46 \leq T_{op} < +60$

Numa tentativa de conseguir que a “pessoa virtual” considerada no programa parta do mesmo estado térmico que as “pessoas reais” que participaram nas experiências, assumiu-se nas simulações uma fase extra localizada antes da primeira fase real. Esta espécie de pré-fase não é incluída na comparação entre os resultados previstos pelo programa e os correspondentes experimentais. Nem sempre a bibliografia científica de onde foram retirados os valores experimentais especifica com suficiente detalhe esta “fase de uniformização”. Por corresponder à situação mais frequentemente considerada, a informação em falta, e apenas esta, foi colmatada assumido que esta fase dura 60 minutos,

a pessoa está em repouso deitada numa cama de rede ($M = 0,8$ met), está vestida apenas com calções e o ambiente é caracterizado por uma temperatura do ar $T_{ar} = 29^{\circ}\text{C}$, uma temperatura média radiante $T_{mr} = 29^{\circ}\text{C}$, uma humidade relativa $HR = 60\%$ e uma velocidade do ar $v_{ar} = 0,2$ m/s. Mesmo assim, para conseguir o efeito pretendido, nalguns casos houve a necessidade de alterar alguns destes valores para cima ou para baixo.

Verificou-se que a bibliografia científica onde são relatados estudos experimentais sobre termorregulação humana nunca apresenta uma descrição dos ensaios realizados suficientemente completa para que a mesma possa ser utilizada na validação de modelos matemáticos. Estes textos omitem sempre informação relevante. Para se poder realizar este trabalho houve então necessidade de colmatar a informação em falta introduzindo valores “estimados”, os mais realistas possível.

A informação mais frequentemente em falta é a relativa ao vestuário. Por norma, na bibliografia aparece apenas um “valor global” para todo o corpo da sua resistência térmica intrínseca ($I_{cl,global}$) e/ou uma descrição genérica das várias peças de roupa vestidas. Ora, e como já foi referido anteriormente, a utilização do programa *Huthereg* requer que em cada “fase” sejam conhecidas as características do vestuário em cada um dos segmentos do corpo humano não nus, nomeadamente em termos do isolamento térmico intrínseco (I_{cl}), da massa (m_{clo}), do calor específico (cp_{clo}), da permeabilidade ao vapor (i_{vp}) e da emissividade radiativa (ε). Deste modo, foi necessário efetuar uma afectação de vestuário pelos 22 segmentos do corpo e especificar as correspondentes propriedades termofísicas. Para afectação do isolamento térmico teve-se em consideração relatos de trabalhos de medição de características de vestuário com recurso a manequins térmicos, por exemplo os de Oliveira *et al.* (2008) e Raimundo e Figueiredo (2009), entre outros. Para o peso da roupa (m_{clo}) não se encontrou qualquer referência, tendo sido impostos os valores que nos pareceram mais realistas. Para as restantes propriedades assumiram-se os valores sugeridos em Raimundo e Figueiredo (2009), ou seja $cp_{clo} = 1\,000$ J/(kg.°C), $i_{vp} = 1$ para segmentos nus, $i_{vp} = 0$ para segmentos vestidos com roupa impermeável, $i_{vp} = 0,15$ para botas e sapatos, $i_{vp} = 0,35$ para “roupa normal”, $\varepsilon = 0,90$ para a face exterior da roupa e $\varepsilon = 0,93$ para a pele humana.

Este processo de colmatação da informação em falta introduz obviamente erros, alguns dos quais estão provavelmente na origem de nem sempre se conseguir uma boa correlação entre os resultados previstos e os correspondentes experimentais.

3.1. Situações analisadas

As situações analisadas apresentadas nas Figuras 3.1 e 3.2 podem agrupar-se em 3 categorias distintas: (i) sem mudança de ambiente térmico; (ii) com mudança de ambiente térmico; e (iii) situações particulares.

De realçar que não foi possível testar o programa para algumas das situações. Isto porque mesmo quando foram encontrados, na bibliografia científica consultada, resultados experimentais para estes casos, os detalhes dos ensaios eram tão incompletos que não foi possível realizar as simulações com um mínimo de fidelidade. Esta situação aconteceu por exemplo para o caso de indivíduos vestidos expostos a ambientes térmicos classificados como de conforto e como quente.

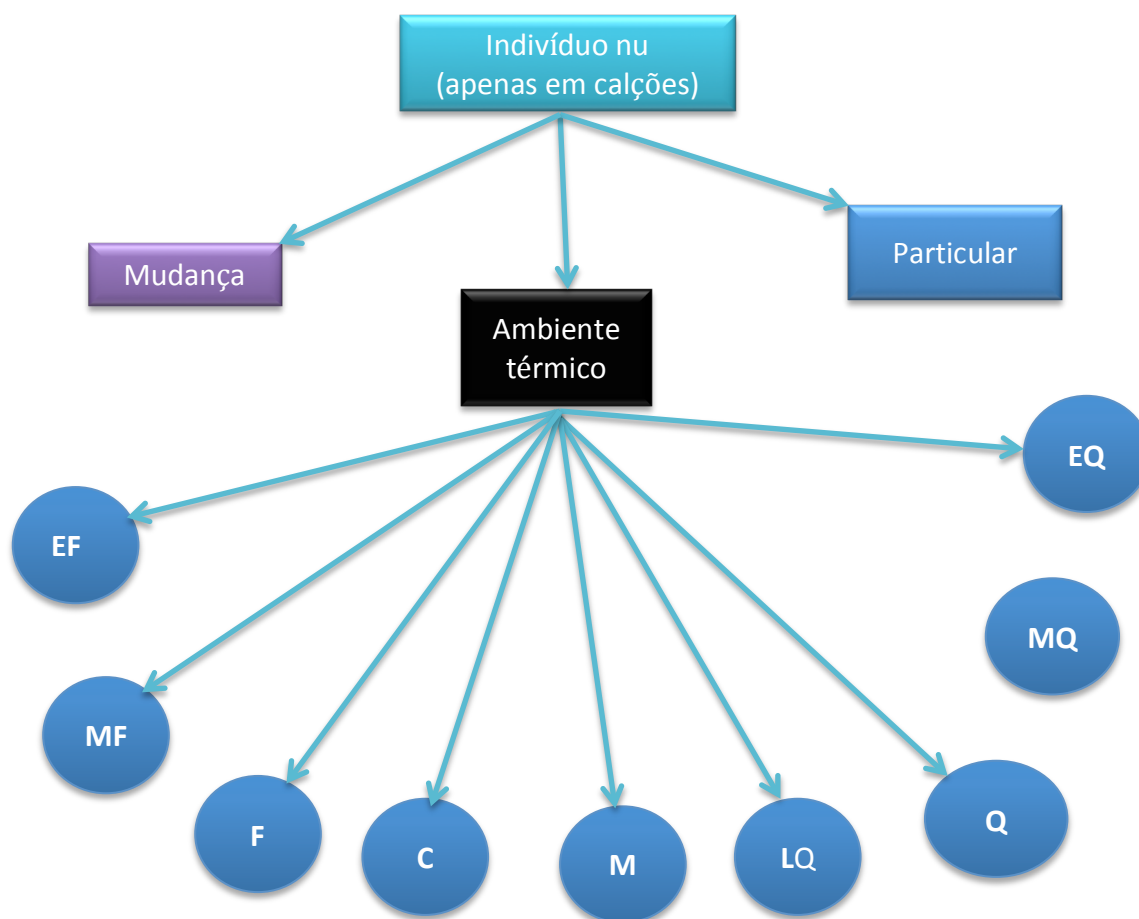


Figura 3.1. Situações analisadas para indivíduos nus

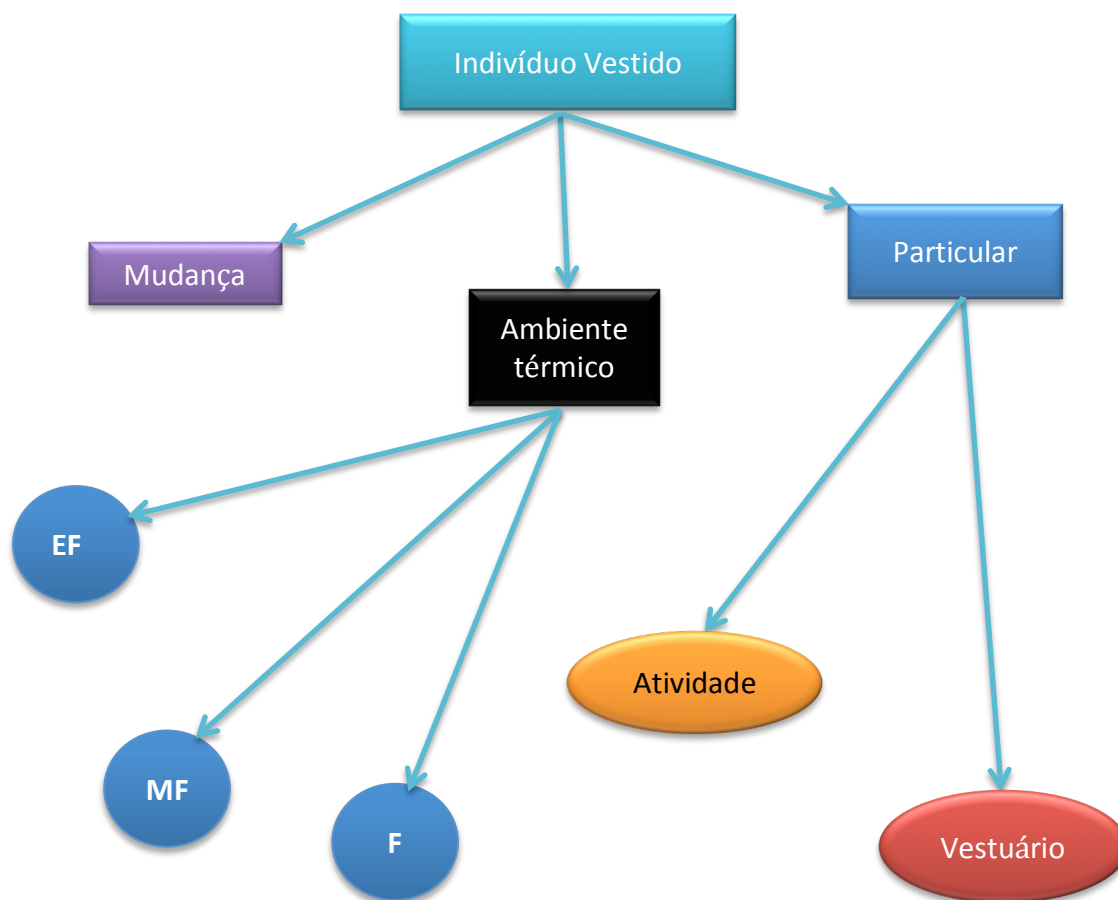


Figura 3.2. Situações analisadas para indivíduos vestidos

3.1.1. Sem mudança de ambiente térmico

Neste caso, a simulação envolve apenas duas fases, a “fase de uniformização” seguida da “fase de ensaio”. Nesta última, a única a ser analisada, a pessoa permanece até ao fim executando o mesmo nível de atividade, vestida com uma determinada roupa (ou nua) e exposta a um determinado ambiente. De realçar que foram selecionados casos com indivíduos nus e com indivíduos vestidos.

As situações com indivíduos nus envolvem vários dos ambientes térmicos classificados na Tabela 3.1, como: (i) extremamente frio; (ii) muito frio; (iii) frio; (iv) de conforto; (v) morno; (vi) ligeiramente quente; (vii) quente; e (viii) muito quente. Em termos de nível da atividade desenvolvida pela pessoa foram simulados seis ensaios com nível de atividade baixo (ou seja parado ou equivalente) e dois com nível de atividade alto (a correr

ou equivalente), sendo estes dois últimos um para ambiente térmico morno e outro para muito quente.

Nas situações com indivíduos vestidos foram estudados casos envolvendo apenas os ambientes térmicos: (i) extremamente frio; (ii) muito frio; e (iii) frio. Em termos de atividade física da pessoa foi considerado apenas o nível de atividade médio, ou seja com o indivíduo a fazer trabalho moderado ou equivalente.

Apresentam-se ainda algumas situações em que apesar de não haver mudança de ambiente térmico no período de ensaio, as pessoas envolvidas foram expostas a um ambiente que mantinha todas as mesmas características excepto o valor das temperaturas do ar (T_{ar}) e média radiante (T_{mr}). Quer o vestuário utilizado quer o nível de atividade foram mantidos (normalmente o repouso com as pessoas deitadas numa cama de rede, por ser o mais fácil de repetir). Nestes casos a análise será apresentada de um modo condensado para todas as temperaturas consideradas nos ensaios, para as quais se comparam as previsões do programa com os resultados experimentais medidos ao fim de um determinado tempo de exposição ao ambiente térmico, normalmente após 1 hora. Estes casos envolvem situações que vão desde ambientes térmicos extremamente frios a extremamente quentes. Sendo por isso testes muito abrangentes em termos de temperatura.

De realçar que podemos considerar como “situação sem mudança de ambiente térmico” a primeira “fase de ensaio” (ou seja, a primeira após a “fase de uniformização”) de um caso que envolve vários ambientes térmicos (ou seja, várias “fases de ensaio”). Deste modo, para evitar repetições, quando isto acontece o caso aparece apenas na secção relativa às “situações com mudança de ambiente térmico”. Isto acontece no caso de indivíduo nu em ambiente térmico classificado como extremamente quente e no caso de indivíduo vestido exposto a ambientes térmicos classificados como morno, como ligeiramente quente e como extremamente quente.

3.1.2. Com mudança de ambiente térmico

Neste caso, a simulação envolve mais do que duas fases, cada uma correspondente a um ambiente térmico diferente. De igual modo que nas situações anteriores, começa-se por simular a “fase de uniformização”. A seguir a esta aparece uma “primeira fase de ensaio” num determinado ambiente térmico que dura um determinado período de tempo. Segue-se uma mudança brusca (que o programa considera instantânea) para um ambiente térmico

diferente, correspondente a uma “segunda fase de ensaio”. A partir daqui podem ou não seguir-se mais “fases de ensaio”. No decurso de cada fase a pessoa executa um determinado nível de atividade, está vestida com uma determinada roupa (ou nua) e está exposta a um determinado ambiente térmico.

Nos casos com indivíduos nus só se encontraram resultados experimentais suficientemente detalhados para situações em que a pessoa executa um nível de atividade baixo. Em termos de ambiente foram consideradas situações que envolvem ambientes térmicos: (i) morno e extremamente frio; (ii) morno e muito frio; (iii) frio e muito quente; (iv) morno e ligeiramente quente; (v) morno e quente; (vi) muito quente e frio; (vii) morno e extremamente quente; e (viii) de conforto, morno e quente.

Para as situações que envolvem indivíduos vestidos fez-se o estudo envolvendo ambientes térmicos: (i) extremamente frio e de conforto; e (ii) morno e ligeiramente quente. Em termos de intensidade de trabalho consideraram-se casos desde níveis de atividade baixos até elevados.

3.1.3. Situações particulares

Classificam-se como particulares as situações que não se enquadram em nenhuma das duas anteriores. Obviamente que só são incluídos casos relatados com suficiente detalhe para poderem ser simulados matematicamente.

Mais concretamente, os casos considerados são: (i) mudança de nível de atividade, com indivíduos quer nus quer vestidos e com e sem mudança abrupta de ambiente térmico; (ii) pessoa vestida e com nível de atividade moderado, mudando entre ambientes térmicos extremamente frios, de dentro de um abrigo para fora do mesmo; (iii) pessoa vestida e com nível de atividade moderado, que muda de vestuário e de ambiente térmico de extremamente frio para muito frio; e (iv) pessoa vestida e com nível de atividade moderado, que muda de vestuário e de ambiente térmico de extremamente frio para morno.

3.2. Ferramentas de Análise Comparativa

Como ferramentas auxiliares na avaliação do nível de conformidade entre os resultados experimentais retirados da bibliografia e os previstos pelo programa utilizaram-se as

funções estatísticas média aritmética das diferenças relativas (δ), o respectivo desvio padrão (σ), o desvio quadrático médio (DQM) e o coeficiente de correlação de *Pearson* (r).

Assuma-se um conjunto de n medições experimentais de valor x_i e um outro conjunto de n previsões do programa *Huthereg* de valor y_i . No caso de estes dois conjuntos de dados poderem ser considerados como emparelhados, ou seja obtidos exatamente para as mesmas condições, a média das diferenças relativas ($x_i - y_i$) resulta

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)}{n} \quad (3.1)$$

que no caso de resultar um valor positivo indica que globalmente os resultados experimentais têm um valor superior aos previstos pelo programa e vice-versa.

De modo a avaliar a dispersão dos valores obtidos para as diferenças relativas ($x_i - y_i$) recorre-se ao seu desvio padrão, obtido através da expressão

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - y_i) - \delta]^2}{n - 1}} \quad (3.2)$$

que no caso de resultar um valor nulo não existe dispersão, ou seja todas as diferenças relativas têm o mesmo valor. Por outro lado, valores elevados são indicativos de elevada dispersão.

Adicionalmente e de modo a reforçar a segurança da análise, recorre-se também ao desvio quadrático médio (ou média quadrática das diferenças), definido como

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (3.3)$$

Em termos genéricos quanto menor for o valor de DQM mais próximos estão os valores previstos dos experimentais e vice-versa.

Para a analisar a evolução dos valores previstos pelo programa face aos correspondentes experimentais recorre-se ao coeficiente de correlação de *Pearson*, aqui definido como

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})^2] \sum_{i=1}^n [(y_i - \bar{y})^2]}} \quad (3.4)$$

em que \bar{x} representa a média dos valores (x_i) medidos experimentalmente e \bar{y} a média dos valores (y_i) previstos pelo programa. Neste estudo, esta função será utilizada para avaliar a relação existente entre a evolução temporal de cada resultado previsto face à evolução temporal do correspondente resultado medido. Esta função pode assumir valores entre -1 e

+1. Valores positivos significam “evoluções no mesmo sentido” e valores negativos “evoluções em sentido divergente”. Obviamente que a $r = 1$ corresponderá à situação ideal, em que ambos os resultados evoluem paralelamente. Por sua vez, $r = -1$ significará uma divergência completa em termos de evolução temporal. Para além disto não existem critérios universalmente aceites sobre a relação entre o valor do coeficiente de correlação de Pearson e o nível de qualidade da correlação entre os valores em comparação. Segundo Cohen (1988): quando $0,10 \leq r < 0,30 \rightarrow$ correlação fraca, $0,30 \leq r < 0,50 \rightarrow$ correlação moderada, $0,50 \leq r < 1,0 \rightarrow$ correlação forte. Por sua vez Dancey e Reidy (2006) sugerem que: $0,10 \leq r < 0,40 \rightarrow$ correlação fraca, $0,40 \leq r < 0,70 \rightarrow$ correlação moderada, $0,70 \leq r < 1,0 \rightarrow$ correlação forte. Neste trabalho opta-se pela sugestão de Dancey e Reidy, mas com a seguinte adaptação: $0,70 \leq r < 0,90 \rightarrow$ correlação forte e $0,90 \leq r < 1,0 \rightarrow$ correlação excelente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como ferramentas de avaliação do nível de conformidade entre os resultados experimentais retirados da bibliografia e os previstos pelo programa *Huthereg* utilizaram-se gráficos em que os resultados experimentais são representados por símbolos individuais e a previsões do programa por linhas. Adicionalmente utilizam-se tabelas em que a conformidade entre os resultados obtidos por ambas as vertentes é analisada em termos das funções estatísticas média aritmética das diferenças relativas (δ) e respectivo desvio padrão (σ), desvio quadrático médio (*DQM*) e aquela que será dada maior importância, o coeficiente de correlação de Pearson (*r*).

4.1. Situações sem mudança de ambiente térmico

4.1.1. Indivíduo Nu

4.1.1.1. Ambiente térmico extremamente frio

Nível de atividade baixo (parado ou equivalente)

Apresenta-se na Figura 4.1 a comparação entre os valores medidos (pontos) e os previstos pelo programa *Huthereg* (linhas) para a temperatura rectal (T_{rectal}), a média ponderada da temperatura da pele (T_{skin}) e o calor produzido (Q_{prod}) por pessoas expostas a um ambiente térmico extremamente frio caracterizado por temperaturas do ar e radiante $T_{ar} = T_{mr} = 5^{\circ}\text{C}$, humidade relativa $HR = 30\%$ e velocidade do ar $v_{ar} = 0,8$ m/s. Os resultados experimentais foram obtidos por Young *et al.* (1986) e envolveram 7 indivíduos vestidos apenas com calções ($I_{cl,global} = 0,10$ clo), deitados numa cama de rede de *nylon* ($M = 0,80$ met), com uma altura média $h = 1,78(\pm 0,05)$ m, uma massa corporal média $w = 79,4(\pm 3,7)$ kg e uma média de percentagens de gordura $B_f = 17,4(\pm 1,8)\%$. Antes dos 90 minutos de duração do ensaio propriamente dito, os indivíduos passaram por duas fases de estabilização. Uma de 20 minutos de duração com os indivíduos de pé mas parados numa sala com $T_{ar} = T_{mr} = 24^{\circ}\text{C}$, $HR = 30\%$ e v_{ar} desconhecida (tendo sido assumido nas simulações $M = 0,8$ met e $v_{ar} = 0,20$ m/s). Outra com a duração de 10 minutos, nas mesmas condições mas com as pessoas a realizar um trabalho moderado (tendo sido adoptado nas simulações $M = 1,60$ met).

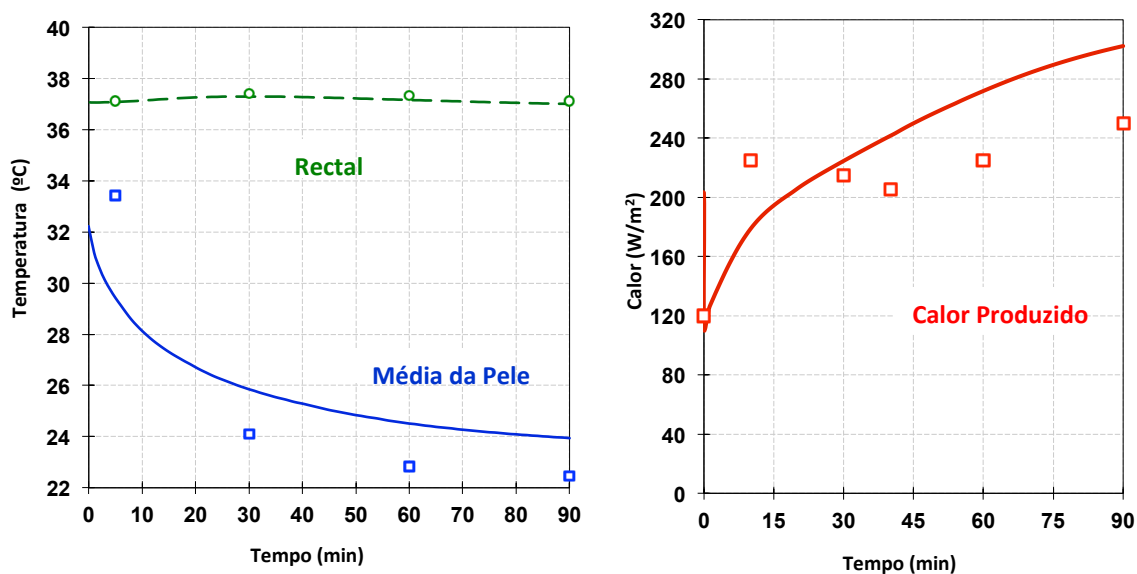


Figura 4.1. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal, a temperatura média da pele e o calor produzido por pessoas expostas a um ambiente térmico extremamente frio com indivíduos nus

Apresenta-se na Tabela 4.1 a comparação, em termos das funções estatísticas, da conformidade entre os valores previstos pelo programa e os medidos experimentalmente por Young *et al.* (1986).

Tabela 4.1. Análise comparativa para ambiente térmico extremamente frio com indivíduos nus: temperatura rectal (T_{rectal}), temperatura média da pele (T_{skin}) e calor produzido (Q_{prod})

	T_{rectal} (°C)	T_{skin} (°C)	Q_{prod} (W/m²)
δ	0,0487	-3,3015	-9,9070
σ	0,0702	3,4365	28,0059
DQM	0,0261	2,2224	9,2254
Coef. Pearson (r)	0,9411	0,9807	0,8550

Analisando a Tabela 4.1 pode constatar-se que o coeficiente de correlação de Pearson (r) demonstra a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e os experimentais da média ponderada da temperatura da pele (T_{skin}) e da temperatura rectal (T_{rectal}). Já no que toca ao calor global produzido pelo corpo humano (Q_{prod}), o valor de r é inferior, mas mesmo assim sugerindo uma relação forte.

É nítida a capacidade do programa para prever com precisão a temperatura rectal. Por sua vez, a qualidade com que a T_{skin} é prevista já não é a mesma, pois as funções estatísticas δ , σ , e DQM apresentam valores superiores aos desejados. Mas isto é normal que aconteça, pois como se pode verificar na Figura 4.1, não se conhecem com precisão

suficiente todos os detalhes relativos às duas fases de estabilização que precedem o período de ensaio propriamente dito.

Como é óbvio, se no instante inicial ($t = 0$ s) o “estado térmico” do corpo virtual simulado pelo modelo matemático não for o mesmo que o médio das pessoas que participaram no estudo experimental, nunca se conseguirá uma concordância perfeita. Mesmo assim pode considerar-se que o *software* demonstrou ter uma boa capacidade de previsão da resposta termofisiológica do corpo humano quando exposto às condições envolvidas na presente situação.

4.1.1.2. Ambiente térmico muito frio

Nível de atividade baixo (parado ou equivalente)

Nas Figura 4.2 e 4.3 apresenta-se a relação entre valores medidos (pontos) e previstos (linhas) para a T_{skin} , T_{rectal} , Q_{prod} , a média global ponderada da temperatura do corpo humano T_{body} e o calor armazenado (Q_{stored}) por pessoas presentes num ambiente térmico muito frio caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 10(\pm 0,2)$ °C, $HR = 40\%$ e $v_{ar} = 0,8$ m/s. Os resultados experimentais foram medidos por Bittel (1987) em 9 pessoas ($I_{cl,global} = 0,14$ clo, $M = 0,80$ met, $h = 1,753$ m) antes e depois de um curso de mergulhador, apresentando $w = 71,84$ kg e $B_f = 15,86$ % antes do curso e depois $w = 72,12$ kg e $B_f = 15,58$ %. Antes de realizarem o teste que durou 120 minutos, os sujeitos foram colocados ainda numa sala durante 90 minutos com $T_{ar} = T_{mr} = 28$ °C, HR e v_{ar} desconhecidas (tendo sido assumido nas simulações $HR = 50\%$, $v_{ar} = 0,2$ m/s e $M = 0,80$ met), local onde foram equipados para realizarem o teste.

Nas Tabelas 4.2 e 4.3 apresenta-se a relação, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos pelo *Huthereg* e os medidos experimentalmente por Bittel (1987).

Tabela 4.2. Análise comparativa para ambiente térmico muito frio com indivíduos nus, antes do curso de mergulho: temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}), temperatura média do corpo (T_{body}), calor produzido (Q_{prod}) e calor acumulado (Q_{stored})

	T_{skin} (°C)	T_{rectal} (°C)	T_{body} (°C)	Q_{prod} (W/m ²)	Q_{stored} (kJ/kg)
δ	1,0587	0,2005	0,3523	-86,5378	15,4236
σ	1,0037	0,1094	0,1350	18,7595	4,7866
<i>DQM</i>	0,4733	0,0752	0,1249	29,4422	3,3567
Coef. Pearson (<i>r</i>)	0,9125	0,9826	0,9810	0,9129	-0,9687

Tabela 4.3. Análise comparativa para ambiente térmico muito frio com indivíduos nus, depois do curso de mergulho: temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}), temperatura média do corpo (T_{body}), calor produzido (Q_{prod}) e calor acumulado (Q_{stored})

	T_{skin} (°C)	T_{rectal} (°C)	T_{body} (°C)	Q_{prod} (W/m ²)	Q_{stored} (kJ/kg)
δ	0,1131	0,0903	0,3456	-77,7333	14,0996
σ	0,9398	0,0393	0,1352	16,0434	3,9310
DQM	0,2978	0,0325	0,1228	26,3971	4,8595
Coef. Pearson (r)	0,9347	0,9763	0,9814	0,9381	-0,9818

Observando as Tabelas 4.2 e 4.3, pode verificar-se que o coeficiente de correlação de Pearson (r) apresenta a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e experimentais da T_{skin} , T_{rectal} , Q_{prod} e da média global ponderada da temperatura do corpo humano (T_{body}), em ambos os casos, ou seja antes e depois do curso de mergulhador. Já no que toca ao calor global acumulado no corpo humano (Q_{stored}) apresenta uma divergência completa em termos de evolução temporal, visto que r é negativo.

É visível a capacidade do programa para prever com precisão a T_{skin} , T_{rectal} e T_{body} , pois as funções estatísticas δ , σ , e DQM apresentam os valores desejados. Comparando os resultados entre a situação antes e depois do curso de mergulhador, verifica-se que só a T_{body} apresenta valores ligeiramente mais precisos depois do curso.

Concluindo o *software* demonstrou ter uma boa capacidade de previsão da resposta termofisiológica do corpo humano quando exposto a estas condições.

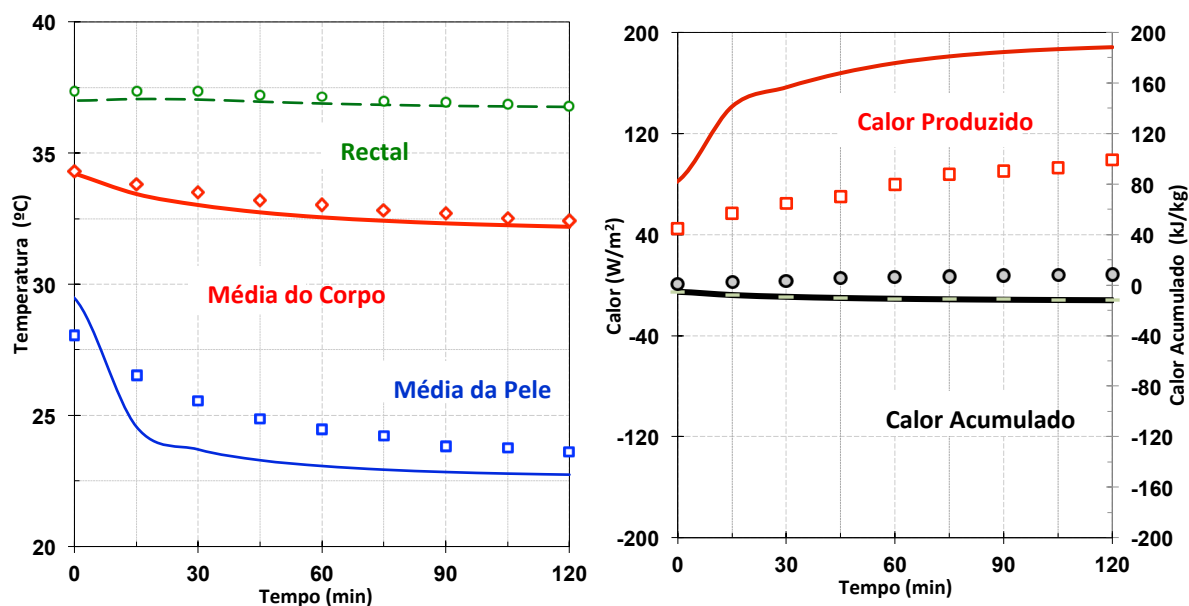


Figura 4.2. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura média da pele, a temperatura rectal, o calor produzido e o calor armazenado por pessoas expostas a um ambiente térmico muito frio antes de um curso de mergulhador com indivíduos nus

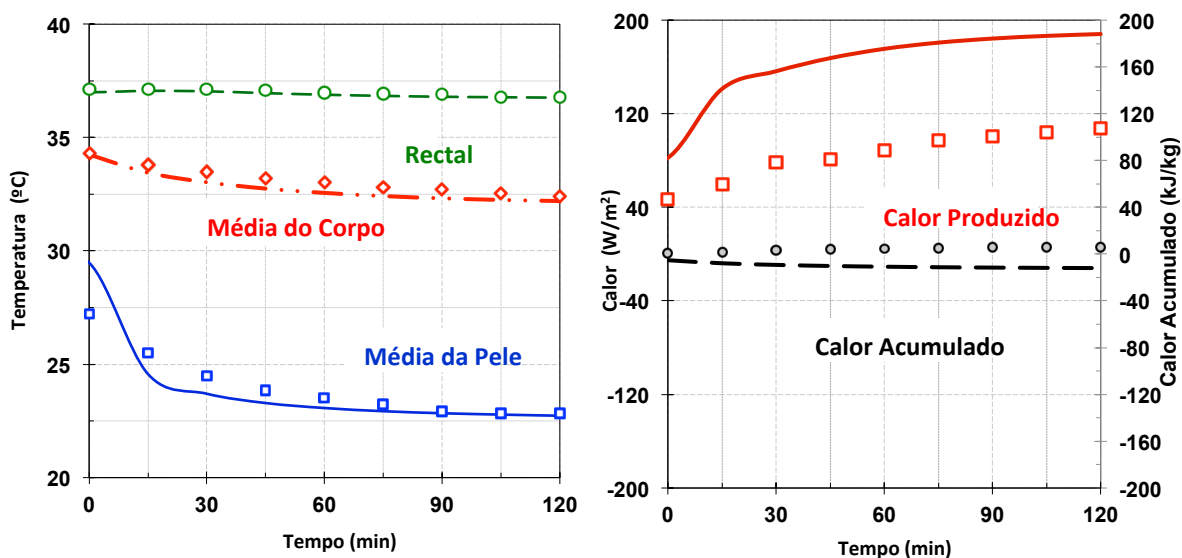


Figura 4.3. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura média da pele, a temperatura rectal, o calor produzido e o calor armazenado por pessoas expostas a um ambiente térmico muito frio antes de um curso de mergulhador com indivíduos nus

4.1.1.3. Ambiente térmico frio

Nível de atividade baixo (parado ou equivalente)

Apresenta-se na Figura 4.4 a comparação entre valores medidos (pontos) e previstos pelo programa *Huthereg* (linhas) para a T_{skin} , T_{rectal} e o calor global perdido pelo corpo humano por evaporação (Q_{evap}) por pessoas num ambiente térmico frio caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 18^{\circ}\text{C}$, $HR = 30\%$ e $v_{ar} = 0,1 \text{ m/s}$. Os valores experimentais apresentados foram medidos por Stolwijk e Hardy (1966) em 3 indivíduos ($I_{cl,global} = 0,1 \text{ clo}$, $M = 1,0 \text{ met}$), sendo h , w e B_f desconhecidos (tendo sido assumidos nas simulações $h = 1,71 \text{ m}$, $w = 73,5 \text{ kg}$ e $B_f = 14 \%$). Esta relação é um excerto de uma simulação com mudança de ambiente térmico, onde só são apresentados os primeiros 60 minutos.

Apresenta-se na Tabela 4.4 a comparação, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos pelo programa e os medidos por Stolwijk e Hardy (1966).

Tabela 4.4. Análise comparativa para ambiente térmico frio com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}) e calor perdido por evaporação (Q_{evap})

	T_{skin} (°C)	T_{rectal} (°C)	Q_{evap} (W)
δ	-1,3120	0,3883	-5,0101
σ	0,4262	0,1174	8,5781
DQM	0,5178	0,1524	3,5491
Coef. Pearson (r)	0,7811	0,12258	0,73445

Analisando a Tabela 4.4 pode afirmar-se que o coeficiente correlação de Pearson mostra a existência de uma relação forte entre os valores previstos e os experimentais da T_{skin} e Q_{evap} . Já para a T_{rectal} , o valor de r sugere uma relação fraca. O que não sugere que a previsão do programa esteja errada, na minha opinião os valores previstos para a T_{rectal} são mais próximos da realidade do que os medidos, estando num ambiente frio a T_{rectal} tende a diminuir como prevê o Huthereg e não a manter-se constante.

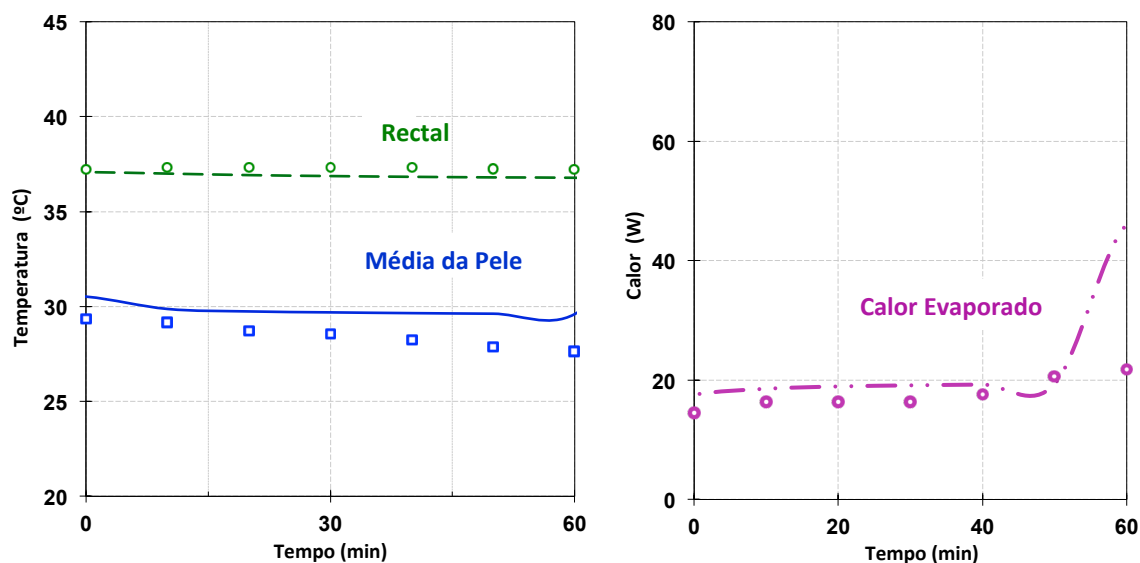


Figura 4.4. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal, a temperatura média da pele e o calor perdido por evaporação por pessoas expostas a um ambiente térmico frio com indivíduos nus

É evidente a capacidade do programa de prever com precisão a temperatura rectal. Por outro lado a qualidade com que a T_{skin} é prevista, não é a mesma, pois δ apresenta um valor ligeiramente superior ao desejado. Isto pode-se justificar já que no instante inicial ($t = 0$ s) o “estado térmico” do corpo virtual simulado pelo modelo matemático não é o mesmo que o médio das pessoas que participaram no estudo experimental, logo nunca se conseguirá uma concordância perfeita.

Mesmo assim ficou demonstrado que o programa demonstra uma boa capacidade de previsão para este caso.

4.1.1.4. Ambiente térmico de conforto

Nível de atividade baixo (parado ou equivalente)

Expõe-se na Figura 4.5 a comparação entre valores medidos (pontos) e previstos pelo programa (linhas) para a T_{skin} , a temperatura da pele dos braços (T_{arms}), a temperatura da pele das mãos (T_{hands}), a temperatura da pele das coxas (T_{thighs}), a temperatura da pele das

pernas (T_{legs}), a temperatura da pele dos pés (T_{feet}), a temperatura média da pele da cabeça (T_{head}) e a temperatura média da pele do tronco (T_{trunk}) em pessoas em contacto com ambiente térmico de conforto caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 19,5^{\circ}\text{C}$, $HR = 54,8\%$ e $v_{ar} = 0,21$ m/s. Os resultados experimentais foram obtidos Munir *et al.* (2009) incluindo 10 indivíduos do sexo masculino com $h = 1,70$ m ($\pm 0,05$) e $w = 66,6$ kg ($\pm 12,9$), sendo $I_{cl,global}$, M e B_f desconhecidos (tendo sido assumidos nas simulações $I_{cl,global} = 0,1$ clo, $M = 0,8$ met e $B_f = 14\%$).

Exibe-se nas Tabelas 4.5 e 4.6, a analogia, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos pelo programa e os medidos por Munir *et al.* (2009).

Tabela 4.5. Análise comparativa para ambiente térmico de conforto com indivíduos nus. Temperatura da pele: dos braços (T_{arms}), das mãos (T_{hands}), das coxas (T_{thighs}) e das pernas (T_{legs})

	T_{arms} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{hands} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{thighs} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{legs} ($^{\circ}\text{C}$)
δ	1,5183	2,6966	0,1830	3,6155
σ	0,4551	1,8661	0,4058	0,2235
DQM	0,7955	1,4183	0,1818	1,6194
Coef. Pearson (r)	0,9658	0,9673	0,9710	0,9681

Tabela 4.6. Análise comparativa para ambiente térmico de conforto com indivíduos nus: temperatura da pele dos pés (T_{feet}), temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura média da pele: da cabeça (T_{head}) e do tronco (T_{trunk})

	T_{feet} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{skin} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{head} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{trunk} ($^{\circ}\text{C}$)
δ	2,3980	-0,0757	0,9087	-1,5489
σ	0,1895	0,2564	0,5502	0,7455
DQM	1,0751	0,0942	0,4621	0,7541
Coef. Pearson (r)	0,9817	0,9883	0,9590	0,9528

Avaliando as Tabelas 4.5 e 4.6, pode afirmar-se que o coeficiente de Pearson mostra a existência de uma relação excelente entre os valores previstos e os experimentais para todas as temperaturas medidas.

Fica evidente a capacidade do programa de prever com precisão a T_{thighs} , T_{skin} , e T_{head} . De outro modo a qualidade com que a T_{arms} , T_{hands} , T_{legs} , T_{feet} e T_{trunk} são previstas, não é a mesma, pois as funções estatísticas δ , σ , e DQM apresentam valores superiores aos pretendidos, por exemplo δ apresenta valores entre $1,5^{\circ}\text{C}$ e 4°C . Isto pode-se explicar já que no instante inicial ($t = 30$ min) o “estado térmico” das pessoas virtuais simulado pelo programa não é o mesmo que o das pessoas que participaram no estudo experimental, logo nunca se conseguirá uma concordância perfeita. E ainda porque a simulação é um excerto

de 20 minutos de um ensaio com mudança de ambiente térmico, por isso não existem muitos valores medidos para comparação.

Mesmo assim ficou provado que o programa tem uma boa capacidade de previsão nesta simulação.

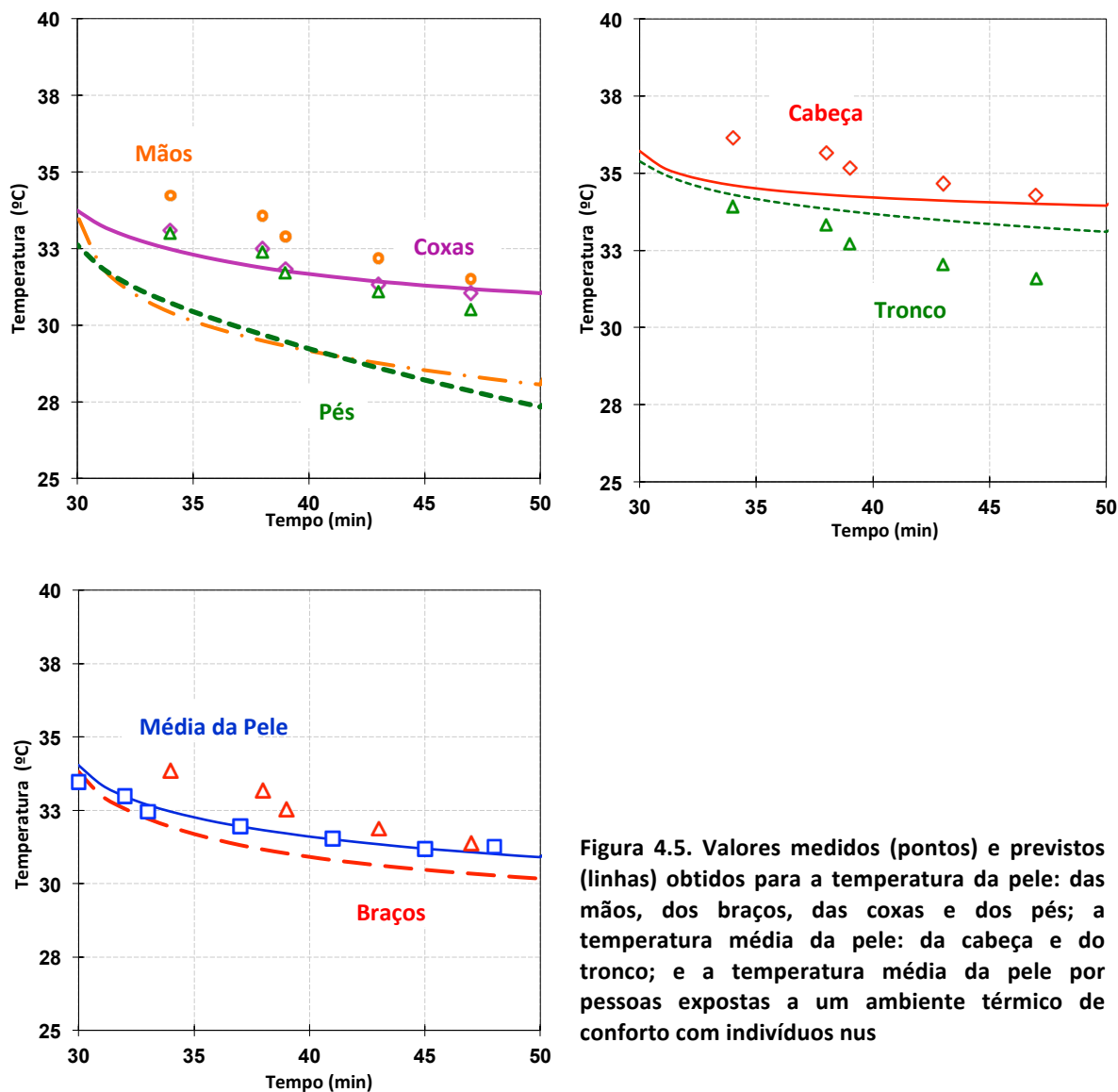


Figura 4.5. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura da pele: das mãos, dos braços, das coxas e dos pés; a temperatura média da pele: da cabeça e do tronco; e a temperatura média da pele por pessoas expostas a um ambiente térmico de conforto com indivíduos nus

4.1.1.5. Ambiente térmico morno

Nível de atividade elevado (a correr ou equivalente)

Apresenta-se na Figura 4.6 a comparação entre os valores medidos (pontos) e os previstos pelo programa *Huthereg* (linhas) para a T_{rectal} e a T_{skin} através de pessoas expostas a um ambiente térmico morno caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 30^{\circ}\text{C}$, $HR = 85\%$ e $v_{ar} = 0,2$ m/s. Os

resultados experimentais foram obtidos por Ribeiro *et al.* (2004) com 8 homens vestindo apenas calções de banho e sapatilhas ($I_{cl,global} = 0,18$ clo), praticando exercício durante 60 minutos numa bicicleta de ginásio ($M = 2,80$ met), com $h = 1,67(\pm 0,01)$ m, $w = 79,5(\pm 2,8)$ kg e $B_f = 28,5(\pm 0,6)$ %.

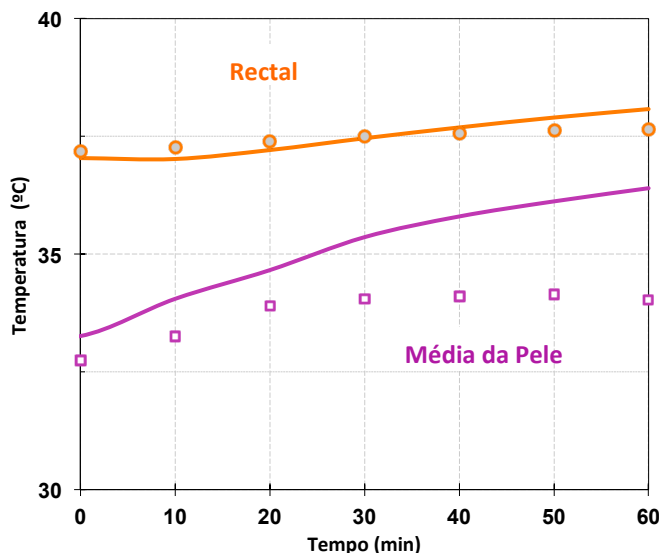


Figura 4.6. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal e temperatura média da pele por pessoas expostas a um ambiente térmico morno com indivíduos nus

Na Tabela 4.7 apresenta-se a comparação, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos pelo *Huthereg* e os medidos experimentalmente por Ribeiro *et al.* (2004).

Tabela 4.7. Análise comparativa para ambiente térmico morno com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}) e temperatura rectal (T_{rectal})

	T_{skin} (°C)	T_{rectal} (°C)
δ	-1,3471	-0,0271
σ	0,6983	0,2522
DQM	0,5648	0,0889
Coef. Pearson (r)	0,9137	0,9536

Investigando a Tabela 4.7 pode constatar-se que r demonstra a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e os experimentais da T_{skin} e T_{rectal} .

É explícita a capacidade do programa para prever com precisão a T_{rectal} . Contudo a qualidade com que a T_{skin} é prevista já não é a mesma, pois a δ apresenta um valor superior ao desejado, já que os valores previstos aumentam ao longo dos 60 minutos e os valores medidos a partir do instante ($t = 30$ min) quase que estabilizam, na minha opinião é mais objectiva a evolução apresentada pelos valores previstos.

Pode considerar-se que o programa demonstrou ter competência na previsão da resposta termofisiológica do corpo humano exposto a estas condições.

4.1.1.6. Ambiente térmico ligeiramente quente

Nível de atividade baixo (parado ou equivalente)

Na Figura 4.7 exibe-se a analogia entre os valores medidos (pontos) e os previstos pelo *software* (linhas) para a T_{rectal} e a T_{skin} por pessoas sujeitas a um ambiente térmico ligeiramente quente caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 33^{\circ}\text{C}$, $HR = 34\%$ e $v_{ar} = 0,1 \text{ m/s}$. Os resultados experimentais foram obtidos por Stolwijk e Hardy (1966) envolvendo 3 indivíduos vestindo ($I_{cl,global} = 0,1 \text{ clo}$) e sentados a descansar ($M = 1,0 \text{ met}$), sendo h , w e B_f desconhecidos (foram assumidos nas simulações $h = 1,71 \text{ m}$, $w = 73,5 \text{ kg}$ e $B_f = 14 \%$).

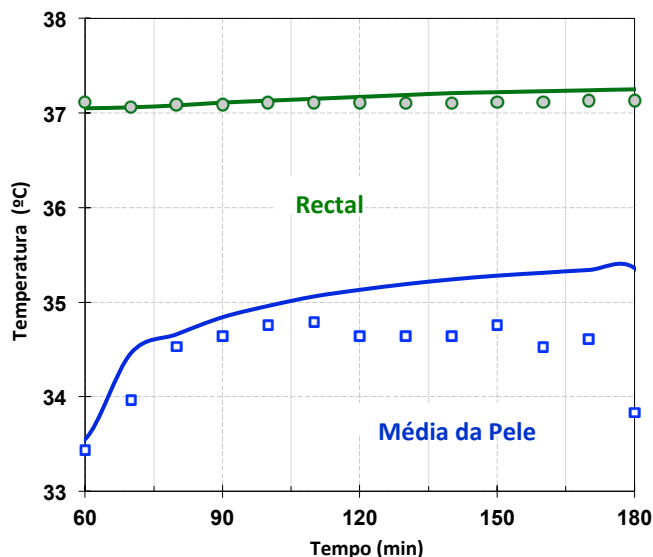


Figura 4.7. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal e temperatura média da pele por pessoas expostas a um ambiente térmico ligeiramente quente com indivíduos nus

Apresenta-se na Tabela 4.8 a analogia, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos e os medidos experimentalmente por Stolwijk e Hardy (1966).

Tabela 4.8. Análise comparativa para ambiente térmico ligeiramente quente com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}) e temperatura rectal (T_{rectal})

	T_{skin} (°C)	T_{rectal} (°C)
δ	-0,5085	-0,0564
σ	0,3785	0,0585
DQM	0,1734	0,0221
Coef. Pearson (r)	0,67885	0,6987

Observando a Tabela 4.8 pode confirmar-se que r não demonstra a existência de uma excelente relação como seria desejado entre os valores previstos e os experimentais da T_{skin} e T_{rectal} , mesmo assim a compatibilidade é moderada.

É patente a capacidade do programa para prever com precisão a T_{skin} e T_{rectal} visto que as funções estatísticas δ , σ , e DQM apresentam os valores pretendidos.

No meu ponto de vista são mais próximos da realidade os resultados previstos pelo *Huthereg* para a T_{skin} e T_{rectal} . Visto que os valores previstos para a T_{rectal} aumentam e os medidos mantêm-se constantes ao longo do tempo e para a T_{skin} os previstos aumentam e os medidos diminuem e aumentam alternadamente ao longo do tempo.

Apesar disso pode considerar-se que o programa mostrou ter uma competência na previsão da resposta termofisiológica do corpo humano exposto a estas condições.

4.1.1.7. Ambiente térmico quente

Nível de atividade baixo (parado ou equivalente)

Apresenta-se na Figura 4.8 a relação entre os valores medidos (pontos) e os previstos pelo programa (linhas) para a T_{rectal} e T_{skin} por pessoas expostas a um ambiente térmico quente caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 40^{\circ}\text{C}$, $HR = 50\%$ e $v_{ar} = 0,02$ m/s. Os resultados experimentais foram medidos durante 60 minutos por Kakitsuba (2004) expondo 4 jovens com $h = 1,71$ m, $w = 73,5$ kg, $I_{cl,global} = 0,1$ clo, $M = 1,0$ met, e $B_f = 14 \%$. De referir que este ensaio é um excerto de 60 minutos de outro com mudança de ambiente térmico.

Na Tabela 4.9 exhibe-se a comparação, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos pelo *Huthereg* e os medidos experimentalmente por Kakitsuba (2004).

Tabela 4.9. Análise comparativa para ambiente térmico quente com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}) e temperatura rectal (T_{rectal})

	T_{skin} (°C)	T_{rectal} (°C)
δ	0,3115	0,0438
σ	0,2443	0,0189
DQM	0,1082	0,0132
Coef. Pearson (r)	0,9469	0,9940

Analisando a Tabela 4.9 pode constatar-se que r demonstra a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e os experimentais da T_{skin} e T_{rectal} .

É clara a capacidade do programa para prever com precisão a T_{skin} e T_{rectal} visto que as funções estatísticas δ , σ , e DQM apresentam os valores desejados.

Logo pode considerar-se que o programa mostrou ter uma excelente competência de previsão da resposta termofisiológica do corpo humano exposto a estas condições.

De referir que esta simulação é um excerto de 60 minutos de outra com mudança de ambiente térmico.

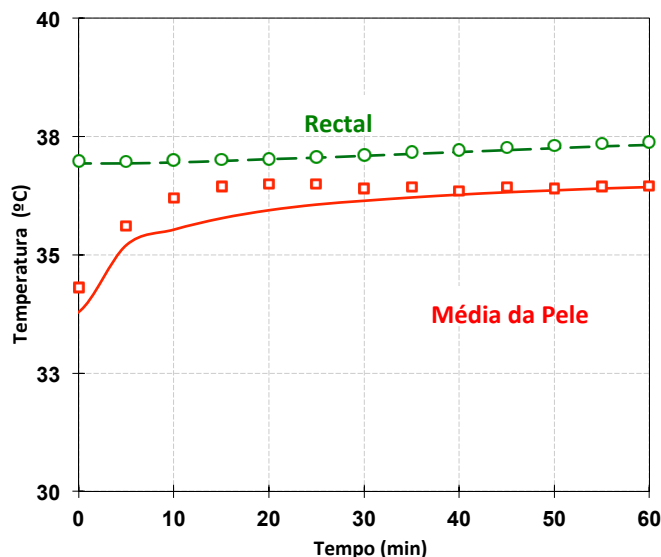


Figura 4.8. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal e temperatura média da pele por pessoas expostas a um ambiente térmico quente com indivíduos nus

4.1.1.8. Ambiente térmico muito quente

Nível de atividade elevado (a correr ou equivalente)

Na Figura 4.9 mostra-se a relação entre os valores medidos (pontos) e os previstos pelo *Huthereg* (linhas) para a T_{legs} , T_{head} , T_{skin} , T_{rectal} , T_{trunk} , T_{arms} e Q_{evap} por pessoas submetidas a um ambiente térmico quente caracterizado por $T_{ar} = 43,3^{\circ}\text{C}$, $T_{mr} = 42,8^{\circ}\text{C}$, $HR = 50\%$ e $v_{ar} = 0,12 \text{ m/s}$. Os resultados experimentais foram medidos durante 120 minutos por Konz *et al.* (1977) envolvendo 1 indivíduo com $h = 1,72 \text{ m}$, $w = 74,43\text{kg}$, $I_{cl,global} = 0,1 \text{ clo}$, $M = 1,2 \text{ met}$, e $B_f = 17 \%$.

Apresenta-se nas Tabelas 4.10 e 4.11 a relação, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos e os medidos experimentalmente por Konz *et al.* (1977).

Tabela 4.10. Análise comparativa para ambiente térmico muito quente com indivíduos nus: temperatura da pele das pernas (T_{legs}), temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura média da pele: da cabeça (T_{head}) e do tronco (T_{trunk})

	$T_{legs} (^{\circ}\text{C})$	$T_{skin} (^{\circ}\text{C})$	$T_{head} (^{\circ}\text{C})$	$T_{trunk} (^{\circ}\text{C})$
δ	0,2323	-0,1062	-0,9336	0,1045
σ	1,0023	0,3353	0,6836	0,7534

<i>DQM</i>	0,2747	0,0941	0,3166	0,2028
Coef. Pearson (<i>r</i>)	0,9697	0,9652	0,60908	0,95001

Tabela 4.11. Análise comparativa para ambiente térmico muito quente com indivíduos nus: temperatura da pele dos braços (T_{arms}), temperatura rectal (T_{rectal}) e calor perdido por evaporação (Q_{evap})

	T_{arms} (°C)	T_{rectal} (°C)	Q_{evap} (W)
δ	0,3262	-0,6308	-6,7172
σ	0,4965	0,1150	18,6726
<i>DQM</i>	0,1603	0,1776	8,0505
Coef. Pearson (<i>r</i>)	0,9472	0,9928	0,9658

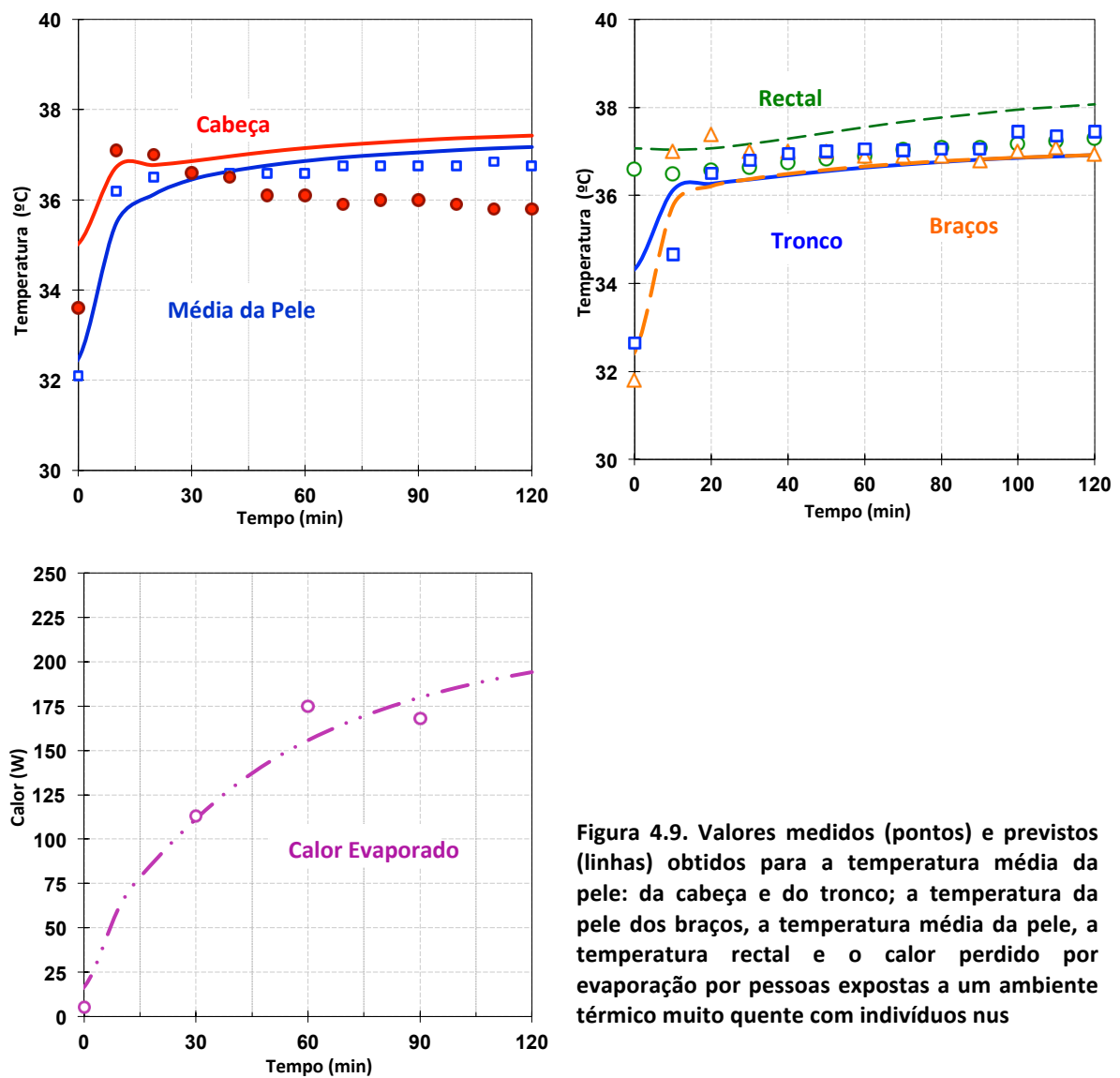


Figura 4.9. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura média da pele: da cabeça e do tronco; a temperatura da pele dos braços, a temperatura média da pele, a temperatura rectal e o calor perdido por evaporação por pessoas expostas a um ambiente térmico muito quente com indivíduos nus

Observando as Tabelas 4.10 e 4.11 pode verificar-se que *r* demonstra a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e os experimentais para T_{legs} , T_{skin} , T_{rectal} , T_{trunk} ,

T_{arms} e Q_{evap} . Já no que toca à T_{head} o valor de r é inferior, mesmo assim apresenta uma relação moderada.

É compreensível a capacidade do programa para prever com precisão a T_{legs} , T_{head} , T_{skin} , T_{rectal} , T_{trunk} , T_{arms} e Q_{evap} visto que as funções estatísticas δ , σ , e DQM apresentam os valores pretendidos.

Os valores previstos para a T_{head} na minha opinião são mais próximos da verdade do que os experimentais, já que as T_{ar} e T_{mr} são tão elevadas, não tem sentido a T_{head} diminuir como acontece com os medidos, mas sim aumentar ligeiramente como previsto pelo programa.

Além de mostrar uma excelente relação como já foi referido, não é apresentado o gráfico para a T_{legs} , visto a diferença no ponto de partida ser demasiado elevada.

Por fim pode dizer-se que o programa mostrou ter uma excelente competência de previsão da resposta termofisiológica do corpo humano exposto às características da presente situação, mesmo quando no instante inicial ($t = 0$ s) o “estado térmico” é diferente.

4.1.1.9. Ambientes térmicos de extremamente frio a extremamente quente

Nível de atividade baixo (parado ou equivalente)

Apresenta-se na Figura 4.10 a analogia entre os valores medidos (pontos) e os previstos pelo *software* (linhas) para a T_{skin} , T_{rectal} , a temperatura do hipotálamo (T_{hypoi}) e o Q_{prod} por pessoas sujeitas a ambientes térmicos caracterizados por $HR = 50\%$ e $v_{ar} = 0,2$ m/s. Neste caso as previsões do programa são comparadas com os resultados experimentais medidos ao fim de um 1 hora de exposição num ambiente térmico com valores da T_{ar} e T_{mr} que vão 0°C a 50°C. Os resultados experimentais foram obtidos por Wyndham *et al.* (1964) envolvendo 44 indivíduos e por Werner Reents (1980) envolvendo 88 pessoas com $h = 1,72$ m, $w = 74,43$ kg, $I_{cl,global} = 0,1$ clo, $M = 0,8$ met, e $B_f = 17$ %.

Observa-se nas Tabelas 4.12 e 4.13 e 4.14 a comparação, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos pelo programa e os medidos experimentalmente.

Tabela 4.12. Análise comparativa para ambientes térmicos de extremamente frio a extremamente quente com indivíduos nus. Temperatura da pele: da testa ($T_{forehead}$), dos braços (T_{arms}), dos antebraços ($T_{forearms}$) e das mãos (T_{hands})

	$T_{forehead}$ (°C)	T_{arms} (°C)	$T_{forearms}$ (°C)	T_{hands} (°C)
δ	-0,5825	0,1587	-0,6775	-0,9950
σ	0,7612	0,8663	2,9220	1,6982
DQM	0,2596	0,2919	0,9956	0,6627
Coef. Pearson (r)	0,9947	0,9901	0,9002	0,9926

Tabela 4.13. Análise comparativa para ambientes térmicos de extremamente frio a extremamente quente com indivíduos nus. Temperatura da pele: das cochas (T_{thighs}), das pernas (T_{legs}) e dos pés (T_{feet}); e temperatura média da pele (T_{skin})

	T_{thighs} (°C)	T_{legs} (°C)	T_{feet} (°C)	T_{skin} (°C)
δ	0,3513	0,7500	-0,5125	0,3283
σ	0,5644	0,9310	0,6994	0,2556
DQM	0,2242	0,4318	0,2938	0,1644
Coef. Pearson (r)	0,9943	0,9974	0,9976	0,9985

Tabela 4.14. Análise comparativa para ambientes térmicos de extremamente frio a extremamente quente com indivíduos nus: temperatura do hipotálamo (T_{hypot}), temperatura rectal (T_{rectal}) e calor produzido (Q_{prod})

	T_{hypot} (°C)	T_{rectal} (°C)	Q_{prod} (W/m ²)
δ	-0,1157	0,0417	-16,7418
σ	0,1279	0,2088	10,9745
DQM	0,0626	0,0797	7,9651
Coef. Pearson (r)	0,9808	0,5445	0,9872

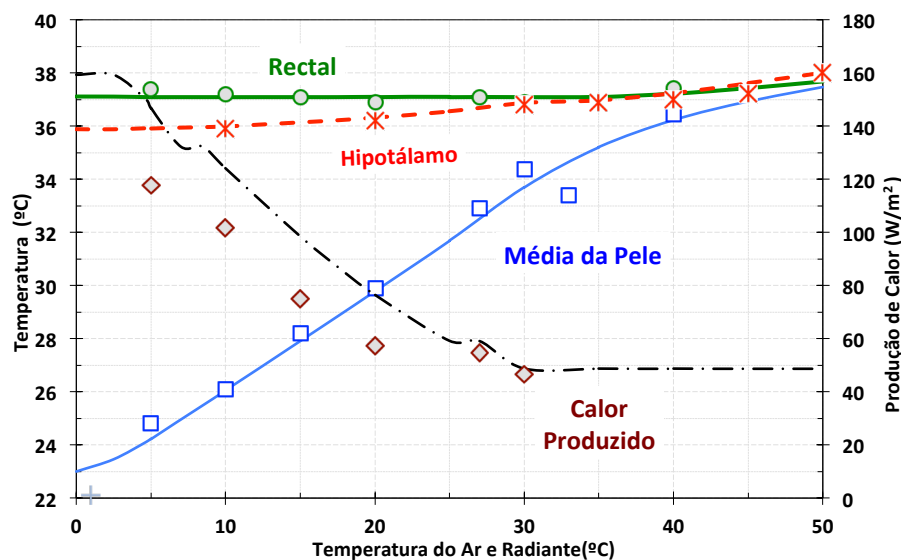


Figura 4.10. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura média da pele, a temperatura do hipotálamo, a temperatura rectal e o calor produzido por pessoas expostas a ambientes térmicos de extremamente frio a extremamente quente com indivíduos nus

Analisando as Tabelas 4.12 e 4.13 e 4.14 pode constatar-se que r mostra a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e os experimentais para $T_{forehead}$, $T_{forearms}$, T_{hands} , T_{skin} , T_{thighs} , T_{legs} , T_{feet} , T_{arms} , T_{hypot} e Q_{prod} . Por outro lado para T_{rectal} o valor de r é inferior, mesmo assim apresenta uma relação moderada.

É patente a capacidade do programa para prever com precisão a $T_{forehead}$, $T_{forearms}$, T_{hands} , T_{skin} , T_{thighs} , T_{legs} , T_{feet} , T_{arms} , T_{hypot} e T_{rectal} . Já no caso do Q_{prod} as funções estatísticas δ , σ , e DQM apresentam valores superiores aos ambicionados.

Mesmo assim o programa revelou ter uma boa capacidade de previsão da resposta termofisiológica do corpo humano exposto às características da situação em questão.

No ANEXO D é apresentado outra comparação com valores medidos por Gagge *et al.* (1967) e Hardy and Stolwijk (1966), com sucesso obtido na análise comparativa.

4.1.2. Indivíduo vestido

4.1.2.1. Ambiente térmico extremamente frio

Nível de atividade médio (fazer trabalho moderado ou equivalente)

Apresenta-se na Figura 4.11 a comparação entre os valores medidos (pontos) e os previstos (linhas) para a T_{skin} , a temperatura da pele do escalpe (T_{scalp}) e a temperatura da pele dos pés (T_{feet}) por pessoas expostas a um ambiente térmico extremamente frio caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = -5^{\circ}\text{C}$, $HR = 40\%$ e $v_{ar} = 0,20$ m/s. Os resultados experimentais foram obtidos por Makinen *et al.* (2000) com 8 indivíduos vestidos com o uniforme militar de inverno do exército finlandês ($I_{cl,global} = 1,32$ clo) e realizando trabalho moderado ($M = 1,4$ met) durante 60 minutos, sendo h , w e B_f desconhecidos (foram assumidos nas simulações $h = 1,72$ m, $w = 73,43$ kg e $B_f = 17\%$).

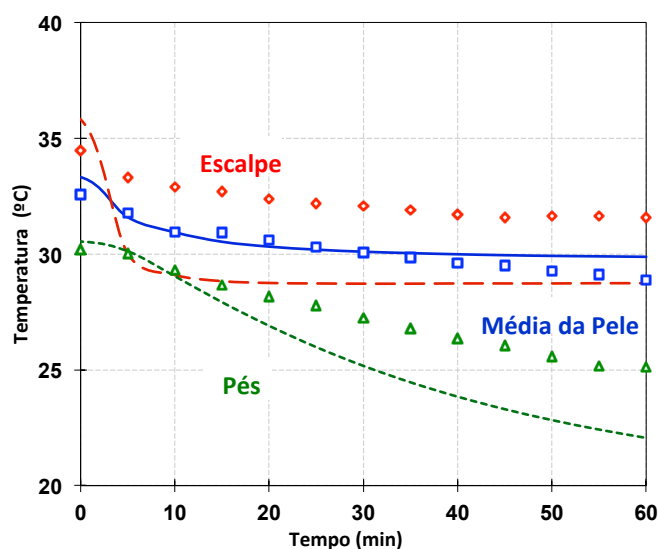


Figura 4.11. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura da pele: do escalpe e dos pés; e temperatura média da pele por pessoas expostas a um ambiente térmico extremamente frio com indivíduos vestidos

Revela-se na Tabelas 4.15 a comparação, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos pelo *software* e os medidos experimentalmente por Makinen *et al.* (2000).

Tabela 4.15. Análise comparativa para ambiente térmico extremamente frio com indivíduos vestidos. Temperatura da pele: do escalpe (T_{scalp}) e dos pés (T_{feet}); e temperatura média da pele (T_{skin})

	T_{scalp} (°C)	T_{feet} (°C)	T_{skin} (°C)
δ	2,9028	1,6742	-0,2501
σ	1,3256	1,1866	0,4511
<i>DQM</i>	0,8792	0,5618	0,1388
Coef. Pearson (<i>r</i>)	0,8385	0,9699	0,9184

Analisando a Tabelas 4.15 pode constatar-se que o coeficiente de correlação de Pearson demonstra a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e os experimentais para T_{feet} e T_{skin} . Já no que toca à T_{scalp} o valor de *r* é inferior, mesmo assim apresenta uma relação forte.

É nítida a competência do programa para prever com precisão a T_{skin} . Por outro lado a qualidade com que a T_{feet} e T_{scalp} são previstas, não é a mesma visto que as funções estatísticas δ , σ , e *DQM* apresentam valores superiores aos desejados. Contudo é normal que aconteça, já que para a T_{feet} não foram obtidos dados objectivos no que diz respeito ao calçado e para a T_{scalp} no instante inicial ($t = 0$ s) o “estado térmico” é diferente entre os valores previstos e medidos, com uma diferença de 1,34° C.

Mesmo assim, pode dizer-se que o programa mostrou ter uma competência de previsão muito boa na resposta termofisiológica do corpo humano com esta situação.

4.1.2.2. Ambiente térmico muito frio e frio

Nível de atividade médio (fazer trabalho moderado ou equivalente)

Na Figura 4.12 indica-se a relação entre os valores medidos (pontos) e os previstos pelo (linhas) para a T_{skin} , T_{arms} , a temperatura da pele das costas (T_{back}), a temperatura da pele do peito (T_{chest}) e a temperatura da pele dos antebraços ($T_{forearms}$) por pessoas submetidas a um ambiente térmico muito frio caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 11^{\circ}\text{C}$ e a um ambiente térmico frio caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 15^{\circ}\text{C}$, sendo ambos caracterizados por $HR = 65,8\%$ e $v_{ar} = 0,18$ m/s. Os resultados experimentais foram medidos por Hong (2011) em 20 indivíduos (10 mulheres e 10 homens) com uma média de $h = 1,672(\pm 1,45)$ m, $w = 57,15\text{kg}$ ($\pm 1,45$) e B_f desconhecido (tendo sido assumido $B_f = 17\%$), vestidos de

uniforme ($I_{cl,global} = 1,32$ clo) e permanecendo sentados ($M = 1,0$ met). Antes dos 120 minutos de duração do ensaio, os indivíduos passaram por uma fase de estabilização de 30 minutos dentro da mesma sala e nas mesmas condições que os ensaios propriamente ditos.

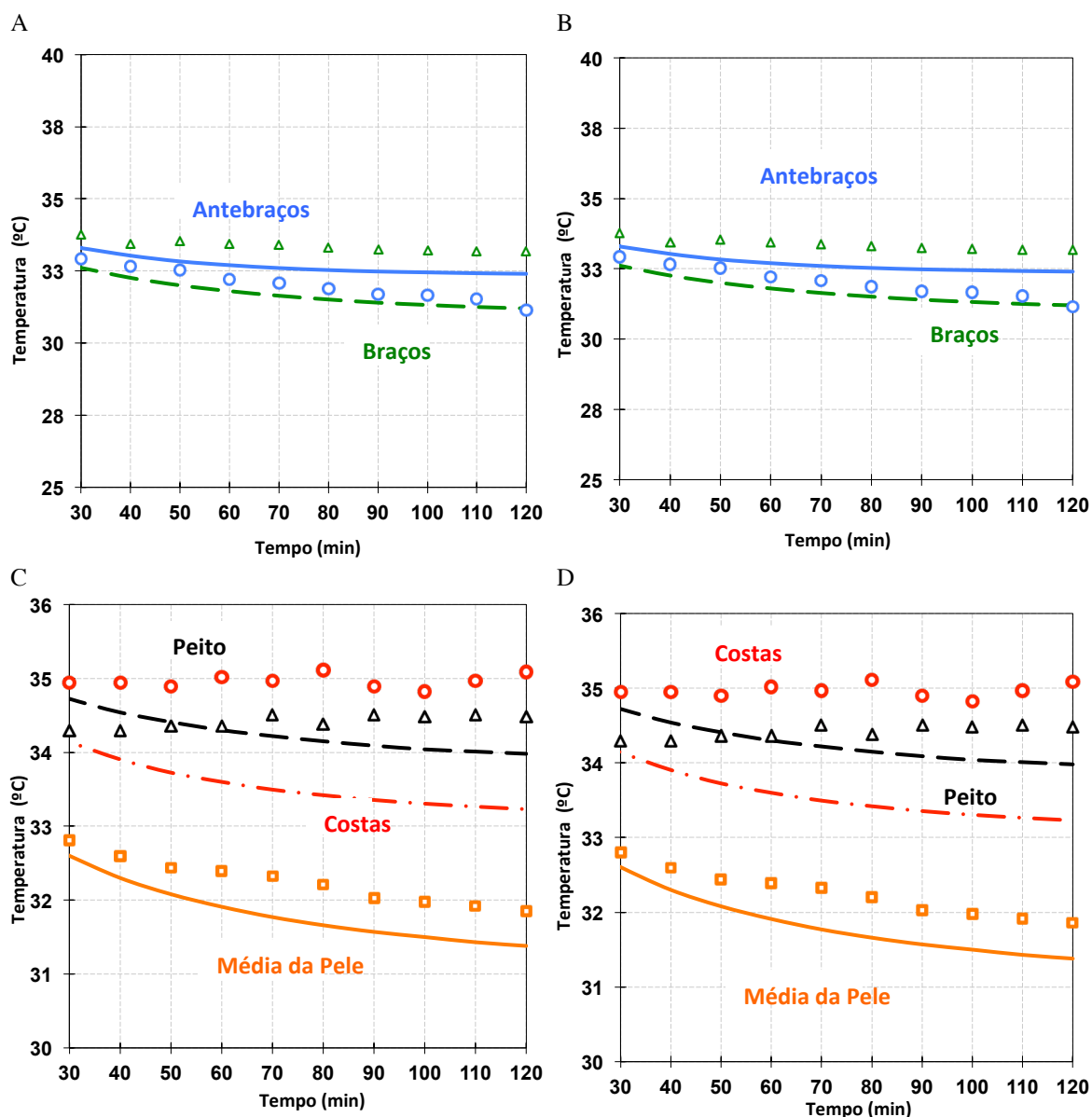


Figura 4.12. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura da pele: dos antebraços e dos braços por pessoas expostas a um ambiente térmico muito frio (A) e frio (B) ; para a temperatura média da pele; temperatura da pele: das costas e do peito por pessoas expostas a um ambiente térmico frio(C) e muito frio(D) com indivíduos vestidos

Apresenta-se nas Tabelas 4.16, 4.17, 4.18 e 4.19 a relação, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos e os medidos experimentalmente por Hong (2011).

Tabela 4.16. Análise comparativa para ambiente térmico muito frio com indivíduos vestidos. Temperatura da pele: da testa ($T_{forehead}$), do peito (T_{chest}), das costas (T_{back}), dos braços (T_{arms}) e dos antebraços ($T_{forearms}$)

	$T_{forehead}$ (°C)	T_{chest} (°C)	T_{back} (°C)	T_{arms} (°C)	$T_{forearms}$ (°C)
δ	-1,1442	0,0961	1,3309	1,6708	-0,6399
σ	0,1168	0,3507	0,3577	0,2954	0,2928
<i>DQM</i>	0,3635	0,1095	0,4343	0,5357	0,2206
Coef. Pearson (<i>r</i>)	0,7576	-0,8845	-0,1720	0,9500	0,9406

Tabela 4.17. Análise comparativa para ambiente térmico muito frio com indivíduos vestidos. Temperatura média da pele (T_{skin}); Temperatura da pele: das mãos (T_{hands}), das cochas (T_{thighs}) e das pernas (T_{legs})

	T_{hands} (°C)	T_{thighs} (°C)	T_{legs} (°C)	T_{skin} (°C)
δ	0,4828	-1,5516	1,6642	0,4344
σ	1,7189	0,1022	0,2049	0,1124
<i>DQM</i>	0,5378	0,4916	0,5299	0,1414
Coef. Pearson (<i>r</i>)	0,8945	0,9492	0,9878	0,9819

Tabela 4.18. Análise comparativa para ambiente térmico frio com indivíduos vestidos. Temperatura da pele: da testa ($T_{forehead}$), do peito (T_{chest}), das costas (T_{back}), dos braços (T_{arms}) e dos antebraços ($T_{forearms}$)

	$T_{forehead}$ (°C)	T_{chest} (°C)	T_{back} (°C)	T_{arms} (°C)	$T_{forearms}$ (°C)
δ	-1,3080	0,1586	1,0944	1,4568	-0,0053
σ	0,0968	0,3061	0,3847	0,3073	0,1983
<i>DQM</i>	0,4147	0,1046	0,0000	0,4698	0,0595
Coef. Pearson (<i>r</i>)	0,7647	-0,8766	-0,8819	0,9366	0,9601

Tabela 4.19. Análise comparativa para ambiente térmico frio com indivíduos vestidos. Temperatura média da pele (T_{skin}); Temperatura da pele: das mãos (T_{hands}), das cochas (T_{thighs}) e das pernas (T_{legs})

	T_{hands} (°C)	T_{thighs} (°C)	T_{legs} (°C)	T_{skin} (°C)
δ	1,7324	-1,6622	0,8365	0,2565
σ	1,3989	0,2443	0,3812	0,0833
<i>DQM</i>	0,6901	0,5307	0,2882	0,0849
Coef. Pearson (<i>r</i>)	0,8860	0,9789	0,9839	0,9858

Observando as Tabelas 4.16, 4.17, 4.18 e 4.19 pode verificar-se que o *r* demonstra a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e os experimentais para a T_{skin} , T_{arms} , $T_{forearms}$, T_{thighs} , T_{legs} e a temperatura da pele das mãos (T_{hands}), num ambiente térmico muito frio e frio. Já em relação à temperatura da pele da testa ($T_{forehead}$), apresenta um valor de *r* inferior, mesmo assim com uma relação forte em ambos os ambientes térmicos. Por fim para a temperatura da pele das costas (T_{back}) e a temperatura da pele do peito (T_{chest}) o valor de *r* apresenta uma divergência completa em termos de evolução temporal nos dois ambientes térmicos.

É visível a capacidade do programa para prever com precisão a T_{skin} , $T_{forearms}$ e T_{chest} . Por outro lado a qualidade com que a T_{arms} , $T_{forehead}$, T_{thighs} e T_{back} são previstas, é diferente visto que a δ apresenta valores superiores aos desejados, nos dois ambientes térmicos. No ambiente térmico muito frio, a δ apresenta valores superiores aos esperados para a T_{legs} . E no ambiente térmico frio, as funções estatísticas δ e σ apresentam valores superiores aos pretendidos para a T_{hands} . Visto no instante inicial ($t = 0$ s) o “estado térmico” do corpo virtual simulado não ser o mesmo que o médio das pessoas que participaram no estudo experimental, nunca se poderia obter uma concordância perfeita. Na minha análise, os valores previstos para a T_{chest} e T_{back} apresentam maior proximidade com a realidade, já que as temperaturas diminuem ligeiramente ao longo do tempo ao contrário dos valores medidos que aumentam ligeiramente quando expostos a ambientes térmicos frios. Pondo isto, pode dizer-se que o programa apresenta ter uma excelente competência de previsão na resposta termofisiológica do corpo humano quando exposto às condições envolvidas nas duas situações aqui presentes.

4.2. Situações com mudança de ambiente térmico

4.2.1. Indivíduo Nu

4.2.1.1. Mudança entre ambiente térmico extremamente frio e morno

Nível de atividade baixo (parado ou equivalente)

Na Figura 4.13 exhibe-se a relação entre os valores medidos (pontos) e os previstos pelo programa (linhas) para a T_{skin} , T_{rectal} , T_{hands} , T_{feet} e Q_{prod} por pessoas expostas a uma mudança entre um ambiente térmico morno caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 28,5^{\circ}\text{C}$, $HR = 45\%$ e $v_{ar} = 0,10$ m/s e outro extremamente frio caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 4,7^{\circ}\text{C}$, $HR = 70\%$ e $v_{ar} = 0,10$ m/s. Os resultados experimentais foram obtidos por Raven e Horvath (1970) recorrendo a 11 indivíduos e por Savourey e Bittel (1988) em 8 indivíduos, sendo h , w e B_f desconhecidos (foram assumidos nas simulações $h = 1,72$ m, $w = 74,43$ kg e $B_f = 17\%$), vestidos apenas de calções ($I_{cl,global} = 0,1$ clo) e deitados em rede de nylon ($M = 1,0$ met).

Indica-se nas Tabelas 4.20 e 4.21 a comparação, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos pelo *software* e os medidos experimentalmente.

Tabela 4.20. Análise comparativa para uma mudança entre um ambiente térmico morno e outro extremamente frio com indivíduos nus. Temperatura da pele: da teste ($T_{forehead}$), do peito (T_{chest}), dos braços (T_{arms}), dos antebraços ($T_{forearms}$), das mãos (T_{hands}) e das cochas (T_{thighs})

	$T_{forehead}$ (°C)	T_{chest} (°C)	T_{arms} (°C)	$T_{forearms}$ (°C)	T_{hands} (°C)	T_{thighs} (°C)
δ	-1,1433	0,6650	-0,0320	2,2000	-0,9540	-0,5187
σ	0,2940	0,8524	0,3435	0,5325	2,0948	0,6567
DQM	0,3042	0,2824	0,0861	0,6038	0,5777	0,2116
Coef. Pearson (r)	0,9989	0,9589	0,9979	0,9915	0,9802	0,9987

Tabela 4.21. Análise comparativa para uma mudança entre um ambiente térmico morno e outro extremamente frio com indivíduos nus. Temperatura da pele: das pernas (T_{legs}) e dos pés (T_{feet}); temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}) e calor produzido (Q_{prod})

	T_{legs} (°C)	T_{feet} (°C)	T_{skin} (°C)	T_{rectal} (°C)	Q_{prod} (W/m ²)
δ	-0,5036	-0,6453	0,4407	0,0079	-25,0680
σ	0,8245	0,6780	0,1821	0,0366	15,5867
DQM	0,2514	0,2374	0,1268	0,0097	7,8102
Coef. Pearson (r)	0,9880	0,9965	0,9987	0,9722	0,9711

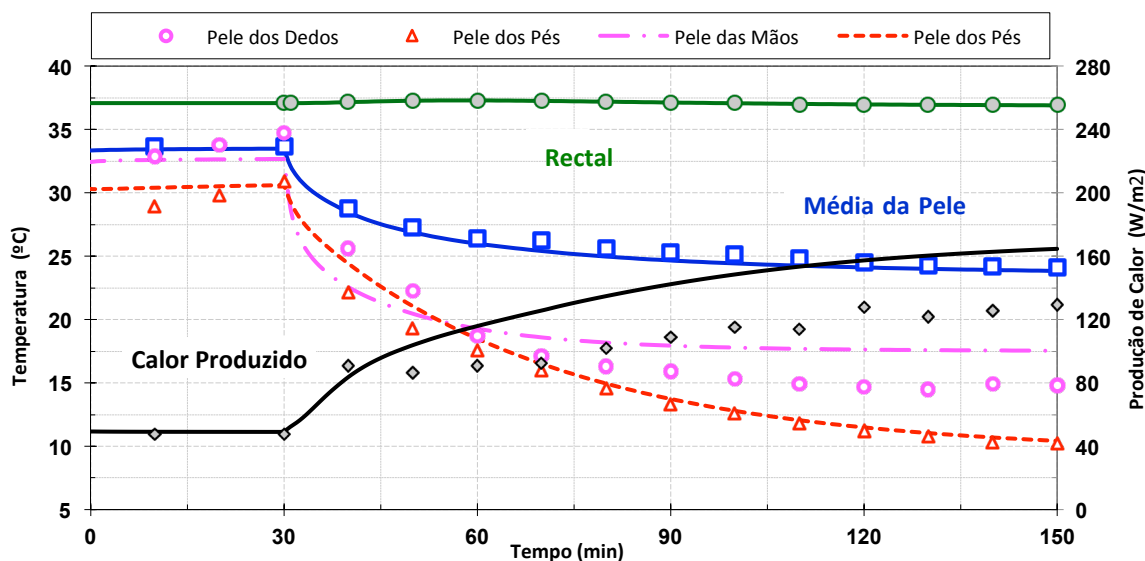


Figura 4.13. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura da pele: das mãos e dos pés; a temperatura média da pele, a temperatura rectal e o calor produzido por pessoas expostas a uma mudança súbita de um ambiente morno para um ambiente extremamente frio com indivíduos nus

Examinando as Tabelas 4.20 e 4.21 pode constatar-se que o coeficiente de correlação de Pearson mostra a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e os experimentais para a T_{skin} , T_{rectal} , T_{thighs} , T_{hands} , T_{feet} , T_{arms} , $T_{forearms}$, T_{legs} , T_{chest} , $T_{forehead}$ e Q_{prod} .

É nítida a capacidade do programa para prever com precisão a T_{skin} , T_{rectal} , T_{thighs} , T_{feet} , T_{arms} , T_{legs} e T_{chest} , já que as funções estatísticas δ , σ , e DQM apresentam os valores pretendidos. Por outro lado a qualidade com que a $T_{forearms}$, $T_{forehead}$, e Q_{prod} são previstas, é

diferente visto que a δ apresenta valores superiores aos desejados. E também o σ para a T_{hands} apresenta um valor superior ao ambicionado.

Mesmo assim, pode afirmar-se que o programa apresenta ter uma excelente competência de previsão na resposta termofisiológica do corpo humano exposto às condições envolvidas na presente simulação.

4.2.1.2. Mudança entre ambiente térmico muito frio e morno
Nível de atividade baixo (parado ou equivalente)

Apresenta-se na Figura 4.14 a comparação entre os valores medidos (pontos) e os previstos pelo *Huthereg* (linhas) para a T_{skin} , T_{rectal} , T_{body} , Q_{prod} e Q_{stored} por pessoas sujeitas a uma mudança entre um ambiente térmico morno caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 28^{\circ}\text{C}$ e HR e v_{ar} desconhecidas (foram assumidos nas simulações $HR = 60\%$ e $v_{ar} = 0,70$ m/s) e um ambiente térmico muito frio caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 10^{\circ}\text{C}$, $HR = 40\%$ e $v_{ar} = 0,17$ m/s. Os resultados experimentais foram medidos por Bittel (1987) expondo 9 pessoas com $h = 1,75$ m, $w = 71,34$ e $B_f = 15,92\%$, vestidos apenas de calções ($I_{cl,global} = 0,1$ clo) e deitados em rede de nylon ($M = 0,8$ met). Os valores experimentais foram medidos a partir do instante ($t = 80$ min) sabendo que as pessoas foram expostas a um ambiente térmico morno durante 90 minutos e a um muito frio 120 minutos.

Observa-se na Tabelas 4.22 a analogia, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos e os medidos experimentalmente.

Tabela 4.22. Análise comparativa para uma mudança entre um ambiente térmico morno e outro muito frio com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}), temperatura média do corpo (T_{body}), calor produzido (Q_{prod}) e calor armazenado (Q_{stored})

	T_{skin} (°C)	T_{rectal} (°C)	T_{body} (°C)	Q_{prod} (W/m ²)	Q_{stored} (kJ/kg)
δ	-0,4973	0,2555	-0,7182	-6,3285	8,1984
σ	0,9118	0,0696	0,4450	68,4278	7,5958
<i>DQM</i>	0,2912	0,0796	0,2515	20,6257	3,4517
Coef. Pearson (<i>r</i>)	0,9569	0,9626	0,9213	0,9616	0,9681

Analisando a Tabela 4.22 pode dizer-se que o *r* mostra a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e os experimentais para todas as variáveis em estudo.

É visível a competência do programa para prever com precisão a T_{skin} , T_{rectal} e T_{body} , já que as funções estatísticas δ , σ , e *DQM* apresentam os valores desejados. De verificar que no instante ($t = 91$ min) se verifica o valor mais elevado para a diferença entre valores

previstos e medidos, com uma diferença de 2,87°C e 1,38°C, para a T_{skin} , e T_{body} , respectivamente.

Pondo isto, pode dizer-se que o programa mostra ter uma excelente competência de previsão na resposta termofisiológica do corpo humano exposto a estas condições.

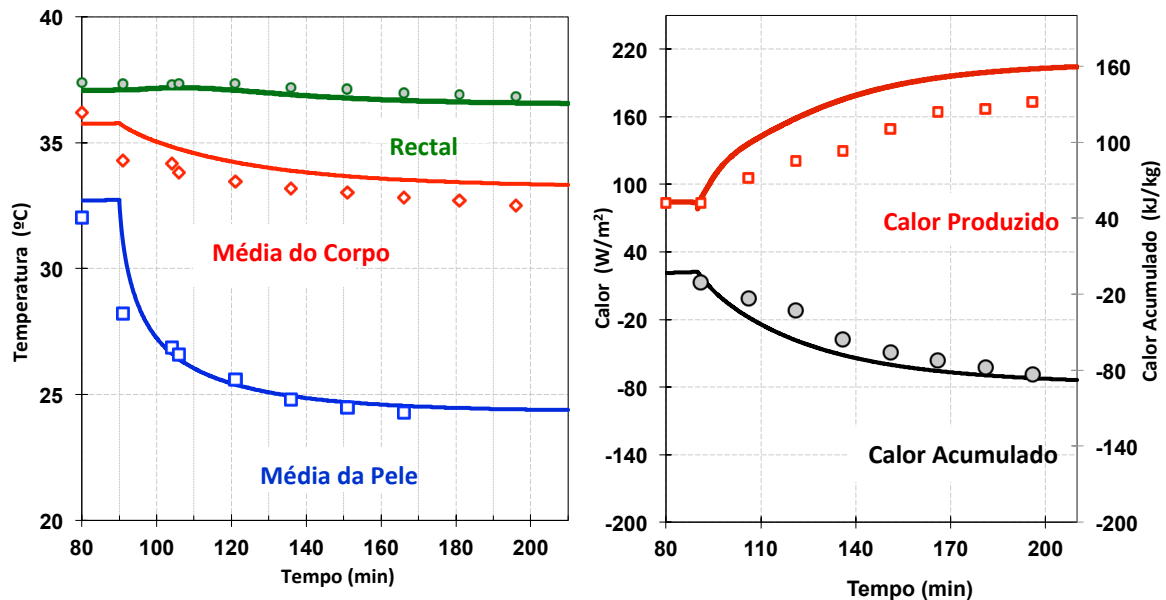


Figura 4.14. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal, a temperatura média do corpo, a temperatura média da pele e o calor produzido e armazenado num caso com uma mudança súbita de um ambiente morno para um ambiente muito frio com indivíduos nus

4.2.1.3. Mudança entre ambiente térmico frio e muito quente Nível de atividade baixo (parado ou equivalente)

Na Figura 4.15 mostra-se o contraste entre valores medidos (pontos) e previstos pelo programa (linhas) para a T_{skin} , T_{rectal} e Q_{evap} por pessoas expostas a uma mudança entre um ambiente térmico frio caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 18^{\circ}\text{C}$, $HR = 30\%$ e $v_{ar} = 0,1 \text{ m/s}$ e outro muito quente caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 42^{\circ}\text{C}$, $HR = 30\%$ e $v_{ar} = 0,1 \text{ m/s}$. Os valores experimentais apresentados foram obtidos por Stolwijk e Hardy (1966) em 3 indivíduos ($I_{cl,global} = 0,1 \text{ clo}$, $M = 1,0 \text{ met}$), sendo h , w e B_f desconhecidos (tendo sido assumidos nas simulações $h = 1,71 \text{ m}$, $w = 73,5 \text{ kg}$, $B_f = 14 \%$).

Apresenta-se na Tabela 4.23 a comparação, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos pelo *Hutherg* e os medidos por Stolwijk e Hardy (1966).

Interpretando a Tabela 4.23 pode afirmar-se que o r mostra a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e os experimentais para a T_{skin} , e Q_{evap} . Já no que toca à T_{rectal} , o valor de r sugere uma relação fraca.

Tabela 4.23. Análise comparativa para uma mudança entre um ambiente térmico frio e outro muito quente com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}) e calor perdido por evaporação (Q_{evap})

	T_{skin} (°C)	T_{rectal} (°C)	Q_{evap} (W)
δ	-1,3106	0,0165	4,3713
σ	0,7495	0,3249	18,7022
DQM	0,3005	0,0637	3,7677
Coef. Pearson (r)	0,9824	0,13513	0,96349

É patente a competência do programa para prever com precisão a T_{rectal} . Por sua vez, a T_{skin} não é prevista com a mesma qualidade, pois a δ apresenta um valor superior ao pretendido. De salientar que é nos momentos de mudança de ambiente térmico que se verificam as maiores diferenças entre os valores previstos e medidos.

De qualquer modo, pode afirmar-se que o *software* indica ter uma excelente competência de previsão na resposta termofisiológica do corpo humano exposto a estas condições.

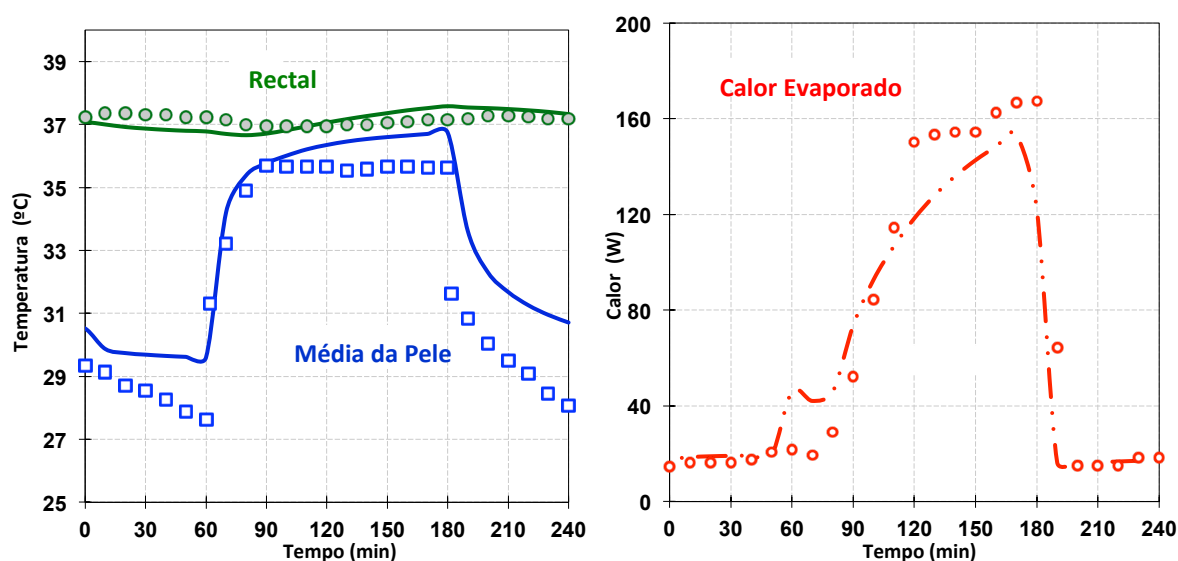


Figura 4.15. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal, a temperatura média da pele e o calor perdido por evaporação num caso com uma mudança súbita de um ambiente frio para um ambiente muito quente com indivíduos nus

4.2.1.4. Mudança entre ambiente térmico ligeiramente quente e morno Nível de atividade baixo (parado ou equivalente)

Na Figura 4.16 expõe-se a relação entre os valores medidos (pontos) e os previstos (linhas) para a T_{rectal} , T_{skin} e Q_{evap} por pessoas sujeitas a uma mudança entre um ambiente térmico morno caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 27,8^{\circ}\text{C}$, $HR = 37\%$ e $v_{ar} = 0,1$ m/s e um ligeiramente

quente com $T_{ar} = T_{mr} = 33^{\circ}\text{C}$, $HR = 34\%$ e $v_{ar} = 0,1 \text{ m/s}$. Os resultados experimentais foram medidos por Stolwijk e Hardy (1966) envolvendo 3 indivíduos nus ($I_{cl,global} = 0,1 \text{ clo}$) e sentados a descansar ($M = 1,0 \text{ met}$), sendo h , w e B_f desconhecidos (foram assumidos nas simulações $h = 1,71 \text{ m}$, $w = 73,5 \text{ kg}$ e $B_f = 14 \%$).

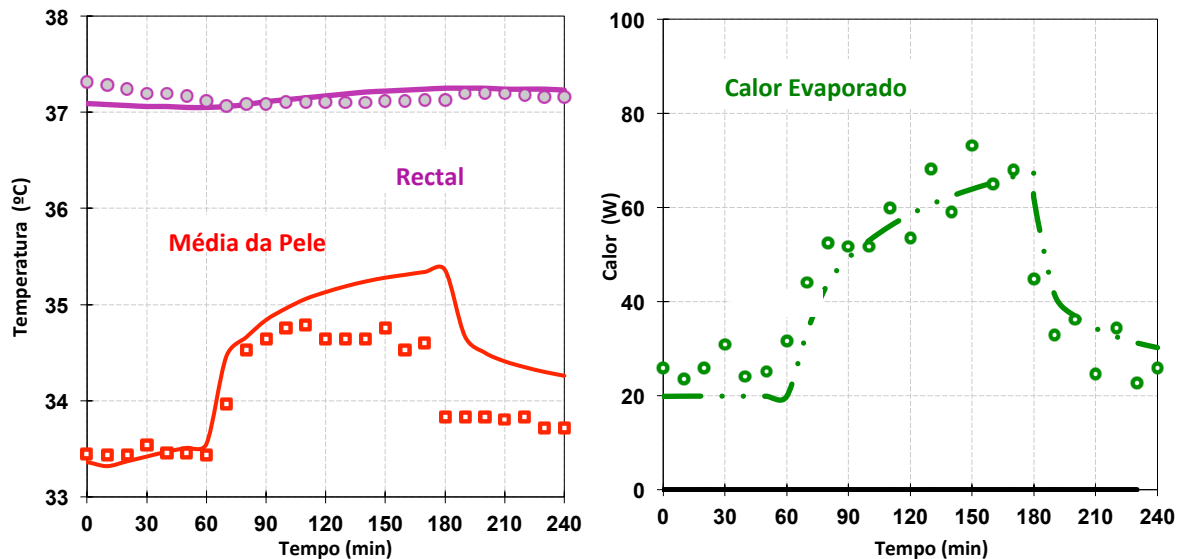


Figura 4.16. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal, temperatura média da pele e calor perdido por evaporação, numa mudança de ambiente térmico de ligeiramente quente para morno com indivíduos nus

Na Tabela 4.24 mostra-se a relação, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos pelo *Hutherg* e os medidos por Stolwijk e Hardy (1966).

Tabela 4.24. Análise comparativa para uma mudança entre um ambiente térmico morno e outro ligeiramente quente com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}) e calor perdido por evaporação (Q_{evap})

	T_{skin} (°C)	T_{rectal} (°C)	Q_{evap} (W)
δ	-0,4021	-0,0042	1,3350
σ	0,3827	0,1068	7,3149
DQM	0,1100	0,0210	1,4581
Coef. Pearson (r)	0,86690	-0,1203	0,9097

Analisando a Tabela 4.24 pode constatar-se que o r mostra a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e os experimentais para o Q_{evap} . Quanto à T_{skin} , o valor de r é inferior, mesmo assim sugere uma relação forte, e para a T_{rectal} uma divergência completa em termos de evolução temporal.

É nítida a capacidade do programa para prever com precisão todas as variáveis em estudo, já que as funções estatísticas δ , σ , e DQM apresentam os valores ambicionados.

Posto isto, pode afirmar-se que o *software* apresenta ter uma excelente competência de previsão na resposta termofisiológica do corpo humano exposto a estas condições.

4.2.1.5. Mudança entre ambiente térmico quente e morno
Nível de atividade baixo (parado ou equivalente)

Apresenta-se na Figura 4.17 a comparação entre os valores medidos (pontos) e os previstos pelo programa (linhas) para a T_{rectal} e T_{skin} por pessoas submetidas a uma mudança entre um ambiente térmico morno caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 28^{\circ}\text{C}$, $HR = 50\%$ e $v_{ar} = 0,02$ m/s e outro quente com $T_{ar} = T_{mr} = 40^{\circ}\text{C}$, $HR = 50\%$ e $v_{ar} = 0,02$ m/s. Os resultados experimentais foram obtidos por Kakitsuba (2004) envolvendo 4 jovens com $h = 1,713$ m, $w = 62,1$ kg e $B_f = 17\%$, vestindo apenas calções ($I_{cl,global} = 0,1$ clo) e permanecendo sentados a descansar ($M = 0,8$ met), tendo-se movido de um ambiente para outro a meio.

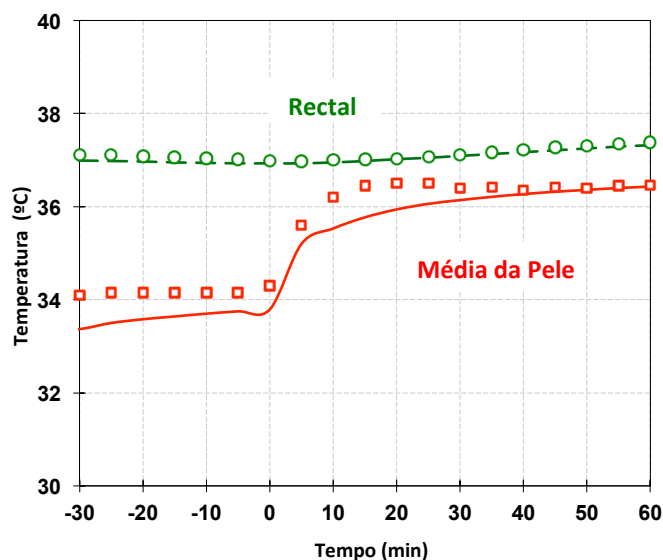


Figura 4.17. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para temperatura rectal e temperatura média da pele numa mudança de ambiente térmico de morno para quente com indivíduos nus

Na Tabela 4.22 expõe-se a relação, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos pelo programa e os medidos por Kakitsuba (2004).

Tabela 4.25. Análise comparativa para uma mudança entre um ambiente térmico morno e outro quente com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}) e temperatura rectal (T_{rectal})

	T_{skin} (°C)	T_{rectal} (°C)
δ	0,3874	0,0642
σ	0,2392	0,0356
DQM	0,1037	0,0167
Coef. Pearson (r)	0,9869	0,9629

Observando a Tabela 4.25 pode verificar-se que o r apresenta a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e os experimentais para a T_{skin} e T_{rectal} .

É nítida também a capacidade do programa para prever com precisão todas as variáveis em estudo, já que as funções estatísticas δ , σ , e DQM apresentam os valores pretendidos.

Logo, pode afirmar-se que o *Huthereg* mostra ter uma excelente competência de previsão na resposta termofisiológica do corpo humano exposto a estas condições.

4.2.1.6. Mudança entre ambiente térmico muito quente e frio Nível de atividade baixo (parado ou equivalente)

Na Figura 4.18 representa-se a relação entre os valores medidos (pontos) e os previstos (linhas) para a T_{rectal} , T_{skin} , q_{evap} e o calor global produzido pelo metabolismo humano (Q_{metab}), por pessoas confrontadas com uma mudança entre um ambiente térmico muito quente caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 43^{\circ}\text{C}$, $HR = 20\%$ e $v_{ar} = 0,3\text{m/s}$ para outro frio com $T_{ar} = T_{mr} = 17^{\circ}\text{C}$, $HR = 40\%$ e $v_{ar} = 0,15\text{ m/s}$. Os resultados experimentais foram conseguidos por Stolwijk e Hardy (1966) incluindo 3 sujeitos vestindo ($I_{cl,global} = 0,1\text{ clo}$) e sentados a descansar ($M = 1,0\text{ met}$), sendo h , w e B_f desconhecidos (foram assumidos nas simulações $h = 1,72\text{ m}$, $w = 74,43\text{ kg}$ e $B_f = 17\%$).

Na Tabela 4.26 mostra-se a comparação, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos e os medidos por Stolwijk e Hardy (1966).

Tabela 4.26. Análise comparativa para uma mudança entre um ambiente térmico muito quente e outro frio com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}), calor produzido pelo metabolismo (Q_{metab}) e calor perdido por evaporação (q_{evap})

	T_{skin} (°C)	T_{rectal} (°C)	Q_{metab} (W/m ²)	q_{evap} (W/m ²)
δ	-0,1252	-0,0054	1,9118	42,4375
σ	0,3808	0,1204	2,0120	40,3190
DQM	0,0787	0,0241	0,5846	11,8301
Coef. Pearson (r)	0,9925	0,9050	0,9450	0,9502

Analisando a Tabela 4.26 pode verificar-se que o coeficiente de correlação de Pearson demonstra a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e os experimentais para todas as variáveis em estudo.

É visível a capacidade do programa para prever com precisão T_{rectal} , T_{skin} e Q_{metab} . Por outro lado a qualidade com que é previsto o q_{evap} já é diferente, visto que as funções estatísticas δ , σ , e DQM apresentam valores superiores aos desejados. Contudo essa discrepância acontece porque no instante inicial ($t = 0$ s) o “estado térmico” do corpo virtual simulado não é o mesmo que o médio das pessoas que participaram no estudo experimental.

De qualquer modo, pode dizer-se que o *Huthereg* apresenta ter uma excelente competência de previsão na resposta termofisiológica do corpo humano exposto nestas condições.

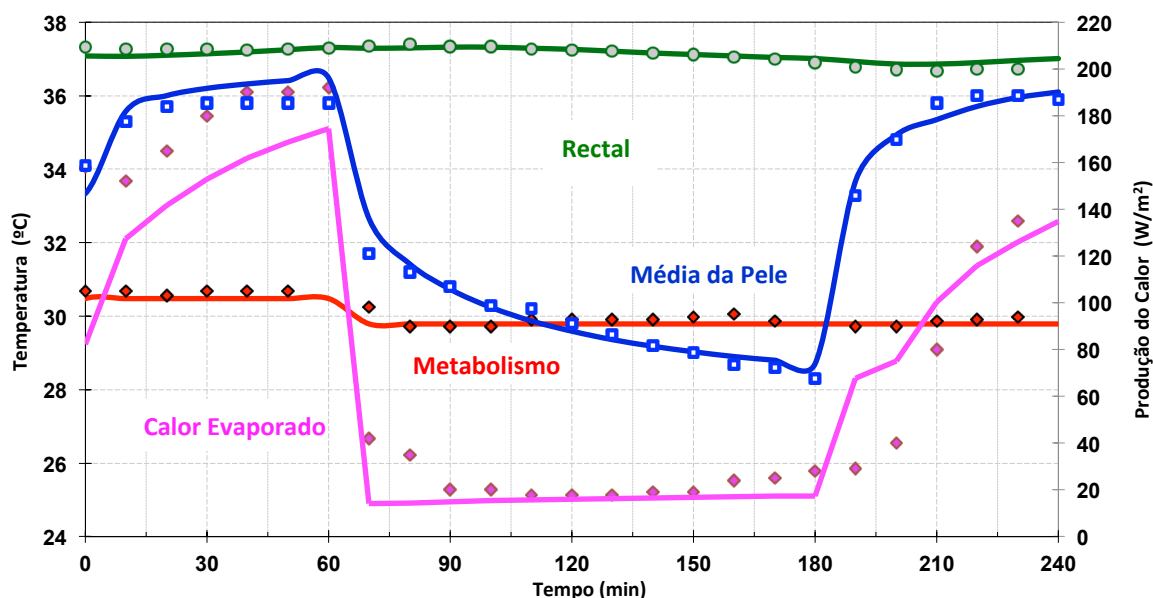


Figura 4.18. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal, temperatura média da pele, calor produzido pelo metabolismo e calor perdido por evaporação numa mudança de ambiente térmico de muito quente para frio com indivíduos nus

4.2.1.7. Mudança entre ambiente térmico extremamente quente e morno Nível de atividade baixo (parado ou equivalente)

Apresenta-se na Figura 4.19 a comparação entre os valores medidos (pontos) e os previstos pelo *software* (linhas) para a T_{rectal} , T_{skin} e Q_{evap} por pessoas sujeitas a uma mudança entre um ambiente térmico extremamente quente caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 48^{\circ}\text{C}$, $HR = 30\%$ e $v_{ar} = 0,1\text{m/s}$ com outro morno ($T_{ar} = T_{mr} = 28^{\circ}\text{C}$, $HR = 30\%$ e $v_{ar} = 0,1\text{ m/s}$). Os resultados experimentais foram conseguidos por Stolwijk e Hardy (1966) com 3 indivíduos sendo h , w e B_f desconhecidos (foram assumidos nas simulações $h = 1,71\text{ m}$, $w = 73,50\text{ kg}$ e $B_f = 14\%$) com $I_{cl,global} = 0,14\text{ clo}$ e $M = 0,8\text{ met}$.

Na Tabela 4.27 apresenta-se a relação, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos e os medidos por Stolwijk e Hardy (1966).

Observando a Tabela 4.27 pode constatar-se que o r mostra a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e os experimentais para todas as variáveis em estudo.

Tabela 4.27. Análise comparativa para uma mudança entre um ambiente térmico morno e outro extremamente quente com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}) e calor perdido por evaporação (Q_{evap})

	T_{skin} (°C)	T_{rectal} (°C)	Q_{evap} (W)
δ	-0,4128	0,0242	12,3936
σ	0,6854	0,2041	21,5738
DQM	0,1519	0,0403	4,7211
Coef. Pearson (r)	0,8996	0,9228	0,97154

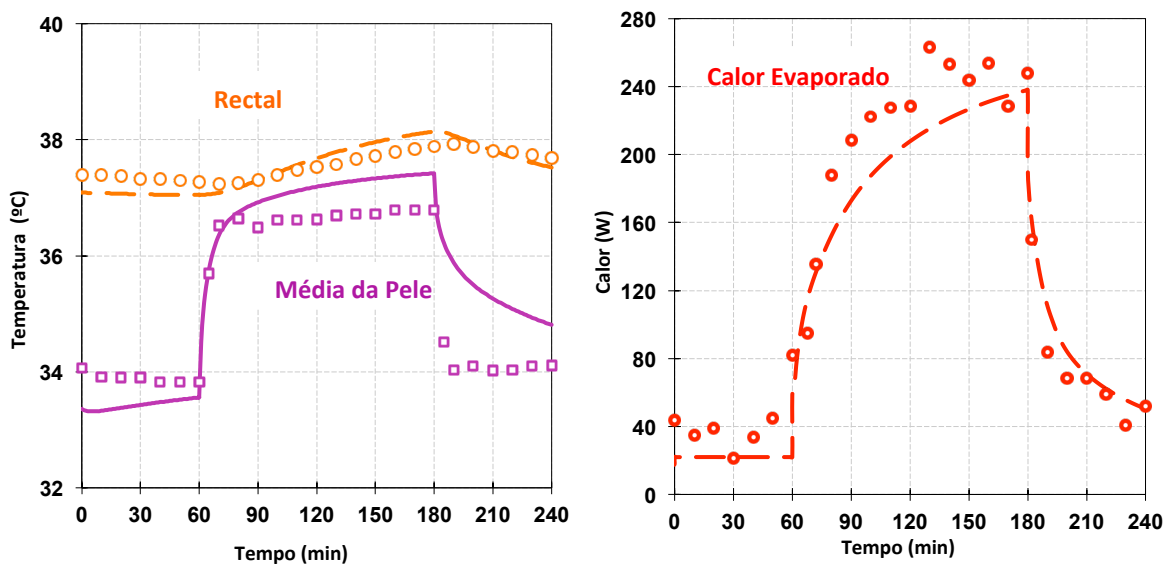


Figura 4.19. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal, temperatura média da pele e calor perdido por evaporação numa mudança de ambiente térmico de morno para extremamente quente com indivíduos nus

É patente a capacidade do programa para prever com precisão T_{rectal} e T_{skin} . Porém a qualidade com que é previsto o Q_{evap} já não é a mesma, visto que as funções estatísticas δ , σ , e DQM apresentam valores superiores aos desejados. Em particular no ambiente extremamente quente, os valores medidos para o Q_{evap} variaram muito, enquanto que os previstos aumentam constantemente. E de referir ainda que para a T_{skin} , os valores previstos pelo programa são inferiores aos medidos nos primeiros 60 minutos e superiores nos últimos 180 minutos.

Mesmo assim, pode dizer-se que o *software* mostra ter uma excelente competência de previsão na resposta termofisiológica do corpo humano exposto a estas condições.

4.2.1.8. Mudança entre ambiente térmico de conforto, quente e morno
Nível de atividade baixo (parado ou equivalente)

Exibe-se na Figura 4.20 a comparação entre os valores medidos (pontos) e os previstos (linhas) para a T_{skin} , T_{arms} , T_{hands} , T_{thighs} , T_{legs} , T_{feet} , T_{head} e T_{trunk} em pessoas confrontadas com mudanças entre um ambiente térmico morno ($T_{ar} = T_{mr} = 29,4^{\circ}\text{C}$, $HR = 47\%$ e $v_{ar} = 0,09$ m/s), outro de conforto ($T_{ar} = T_{mr} = 19,5^{\circ}\text{C}$, $HR = 54,8\%$, e $v_{ar} = 0,21$ m/s) e um quente ($T_{ar} = T_{mr} = 38,9^{\circ}\text{C}$, $HR = 44,1\%$ e $v_{ar} = 0,22$ m/s). Os resultados experimentais foram medidos por Munir *et al.* (2009) incluindo 10 indivíduos do sexo masculino com $h = 1,70$ m ($\pm 0,05$) e $w = 66,6$ kg ($\pm 12,9$), sendo $I_{cl,global}$, M e B_f desconhecidos (tendo sido assumidos nas simulações $I_{cl,global} = 0,1$ clo, $M = 0,8$ met e $B_f = 14\%$).

Nas Tabelas 4.28 e 4.29 mostra-se a comparação, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos pelo programa e os medidos por Munir (2009).

Tabela 4.28. Análise comparativa para uma mudança entre ambiente térmico de conforto, um quente e outro morno, com indivíduos nus. Temperatura da pele: dos braços (T_{arms}), das mãos (T_{hands}), das coxas (T_{thighs}) e das pernas (T_{legs})

	T_{arms} (°C)	T_{hands} (°C)	T_{thighs} (°C)	T_{legs} (°C)
δ	0,1045	1,0190	0,3661	2,1627
σ	0,7506	1,2117	0,3219	0,8646
DQM	0,1538	0,2817	0,0869	0,4174
Coef. Pearson (r)	0,8448	0,8212	0,9751	0,9546

Tabela 4.29. Análise comparativa para uma mudança entre ambiente térmico de conforto, um quente e outro morno, com indivíduos nus. Temperatura da pele dos pés (T_{feet}); temperatura média: da pele (T_{skin}), da pele da cabeça (T_{head}) e da pele do tronco (T_{trunk})

	T_{feet} (°C)	T_{skin} (°C)	T_{head} (°C)	T_{trunk} (°C)
δ	1,3660	0,0972	0,3493	-1,2174
σ	0,9918	0,2287	0,5891	0,6750
DQM	0,3015	0,0421	0,1256	0,2620
Coef. Pearson (r)	0,9731	0,9828	0,7399	0,8438

Analisando as Tabela 4.28 e 4.29 pode dizer-se que o r demonstra a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e os experimentais da T_{thighs} , T_{legs} , T_{feet} e T_{skin} . Já

no que toca à T_{arms} , T_{hands} , T_{head} e T_{trunk} , o valor de r é inferior, mas mesmo assim sugerindo uma relação forte.

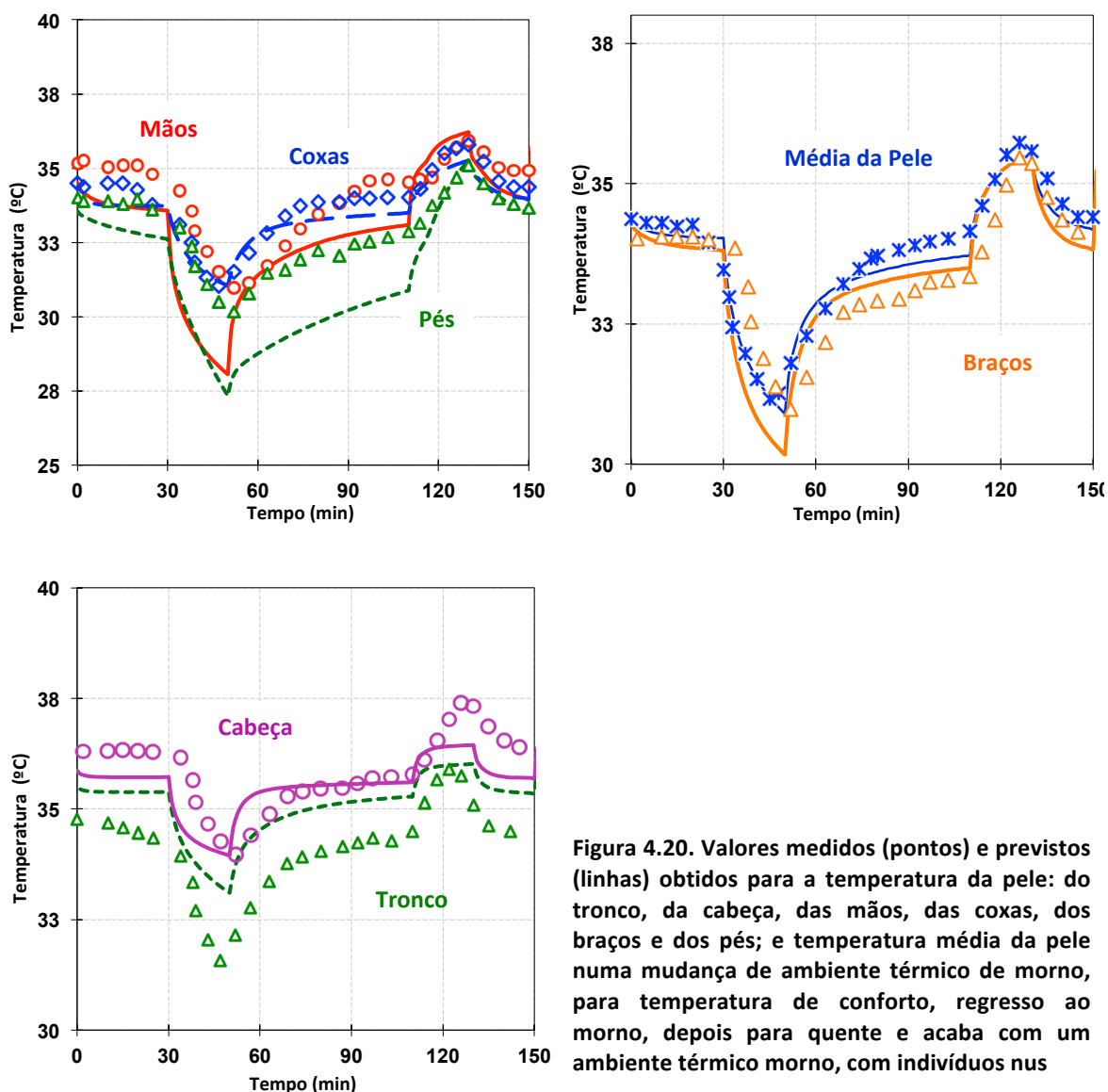


Figura 4.20. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura da pele: do tronco, da cabeça, das mãos, das coxas, dos braços e dos pés; e temperatura média da pele numa mudança de ambiente térmico de morno, para temperatura de conforto, regresso ao morno, depois para quente e acaba com um ambiente térmico morno, com indivíduos nus

É nítida a capacidade do programa para prever com precisão a T_{skin} , T_{head} , T_{thighs} e T_{arms} . Por outro lado, a aptidão com que a T_{legs} , T_{feet} , T_{hands} e T_{trunk} são previstas já não é igual, pois a função estatística δ apresenta valores superiores aos desejados. De referir que o gráfico para a T_{feet} não é apresentado porque a diferença entre os valores previstos e medidos no instante inicial é de 1,39 °C.

Com isto, pode dizer-se que o *Huthereg* tem uma excelente competência de previsão na resposta termofisiológica do corpo humano exposto nestas condições.

4.2.2. Indivíduo Vestido

4.2.2.1. Mudança entre ambiente térmico extremamente frio e de conforto

Variação do nível de atividade

Na Figura 4.21 indica-se o contraste entre os valores medidos (pontos) e previstos pelo *Huthereg* (linhas) para a T_{skin} , $T_{forearms}$, T_{hands} , T_{rectal} , T_{feet} , T_{body} e a temperatura da pele do abdómen ($T_{abdomen}$) em pessoas que foram mantidas num ambiente térmico de conforto ($T_{ar} = T_{mr} = 20^{\circ}\text{C}$, $HR = 50\%$ e $v_{ar} = 0,2$ m/s) sentadas numa cadeira ($M = 1,0$ met) durante 20 minutos, depois moveram-se para uma câmara extremamente fria ($T_{ar} = T_{mr} = -25^{\circ}\text{C}$, $HR = 50\%$, e $v_{ar} = 0,2$ m/s) onde permaneceram durante 30 minutos: estando sentados durante 10 minutos, realizando trabalho durante outros 10 minutos em 3 condições apresentadas na Tabela 4.30 e por fim sentaram-se durante o tempo restante. Os indivíduos estiveram expostos a esta transição entre ambiente de conforto e extremamente frio por três vezes, tendo uma fase de recuperação no final de todo o ensaio, onde estiveram 20 minutos sentados num ambiente térmico de conforto ($T_{ar} = T_{mr} = 20^{\circ}\text{C}$, $HR = 50\%$, e $v_{ar} = 0,2$ m/s). Os resultados experimentais foram obtidos por Kim et. al (2005) em 8 indivíduos do sexo masculino ($h = 1,677(\pm 0,054)$ m e $w = 59,2(\pm 4,8)$ kg), vestidos com roupa de proteção térmica ($I_{cl,global} = 3,4\text{clo}$) sendo B_f desconhecido (foi assumido na simulação $B_f = 17\%$).

Tabela 4.30. Atividade realizada em cada uma das diferentes condições da simulação

C (sem trabalho)	R1 (carregando 9kg)	R2 (carregando 18kg)
$M = 1,0$ met	$M = 2,0$ met	$M = 3,0$ met

Nas Tabelas 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.35 e 4.36 apresenta-se a analogia, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos e os medidos por Kim et. al (2005).

Observando as Tabelas 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.35 e 4.36 pode afirmar-se que r mostra a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e os experimentais da T_{body} , T_{feet} e T_{skin} na condição C, da T_{chest} , T_{feet} e T_{legs} realizando R1 ou R2 e da T_{hands} exercendo R2. Quanto à $T_{forearms}$, T_{hands} , T_{legs} , T_{rectal} e T_{chest} na atividade C, o valor de r é inferior, mas mesmo assim sugere uma relação forte. Já no que toca à T_{adomen} realizando C apresenta uma divergência completa. Na simulação com atividades R1 ou R2 o valor de r da T_{skin} apresenta uma relação forte entre os valores previstos e medidos, assim como para a $T_{forearms}$, T_{hands} , T_{body} , T_{rectal} e T_{skin} exercendo R1. Por outro lado para a T_{adomen} na simulação

com atividade R1 ou R2 o valor de r apresenta uma relação moderada, assim como para a $T_{forearms}$, T_{body} e T_{rectal} realizando R2.

É visível a competência do programa para prever com precisão a T_{body} , T_{skin} , $T_{abdomen}$ e T_{rectal} em todas as condições e a $T_{forearms}$ somente nas atividades R1 e R2. De outra forma, a qualidade com que a T_{legs} , T_{arms} , T_{feet} e T_{chest} são previstas já não é a mesma, pois as funções estatísticas δ e σ apresentam valores superiores aos pretendidos na realização de qualquer uma das atividades em questão. Contudo a *DQM* apresenta valores excelentes para todas as variáveis.

Foi concluído que os valores previstos pelo *Huthereg* mais próximos em relação aos medidos por Kim et. al (2005) foram os do ensaio sem realização de trabalho (C) ou seja com uma intensidade da atividade mais baixa.

Mais uma vez, no instante inicial ($t = 0$ s) o “estado térmico” do corpo virtual simulado pelo *software* não foi o mesmo que o médio das pessoas que participaram no estudo experimental, o que justifica não haver uma concordância perfeita.

Na minha análise os valores previstos pelo programa para a $T_{abdomen}$ são mais verídicos do que os experimentais, pois acho quase impossível que perante uma variação de ambiente térmico tão brusca, a $T_{abdomen}$ possa aumentar ou manter-se constante como sugerem os valores medidos.

Logo, pode afirmar-se que o *Huthereg* tem uma excelente competência de previsão na resposta termofisiológica do corpo humano confrontado com estas condições.

Tabela 4.31. Análise comparativa para uma mudança entre ambiente térmico extremamente frio e de conforto, com indivíduos vestidos. Temperatura da pele: do peito (T_{chest}), do abdómen (T_{adomen}), dos antebraços ($T_{forearms}$), das mãos (T_{hands}) e das pernas (T_{legs}) a realizar atividade C

	T_{chest} (°C)	T_{adomen} (°C)	$T_{forearms}$ (°C)	T_{hands} (°C)	T_{legs} (°C)
δ	-1,2545	0,0850	-1,6221	-2,6267	1,2524
σ	1,6256	0,6728	0,8579	3,5892	0,7600
<i>DQM</i>	0,2194	0,1130	0,3092	0,7448	0,8121
Coef. Pearson (r)	0,8678	-0,0555	0,7697	0,8997	0,8939

Tabela 4.32. Análise comparativa para uma mudança entre ambiente térmico extremamente frio e de conforto, com indivíduos vestidos: temperatura da pele dos pés (T_{feet}), temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}) e temperatura média do corpo (T_{body}) a realizar atividade C

	T_{feet} (°C)	T_{skin} (°C)	T_{rectal} (°C)	T_{body} (°C)
δ	-0,6303	1,0413	-0,0820	-0,5126
σ	2,1975	0,8233	0,2754	0,3629
<i>DQM</i>	0,3813	0,2231	0,1147	0,1072
Coef. Pearson (<i>r</i>)	0,9798	0,9059	0,7661	0,9351

Tabela 4.33. Análise comparativa para uma mudança entre ambiente térmico extremamente frio e de conforto, com indivíduos vestidos. Temperatura da pele: do peito (T_{chest}), do abdómen (T_{adomen}), dos antebraços ($T_{forearms}$), das mãos (T_{hands}) e das pernas (T_{legs}) a realizar atividade R1

	T_{chest} (°C)	T_{adomen} (°C)	$T_{forearms}$ (°C)	T_{hands} (°C)	T_{legs} (°C)
δ	-1,7809	-0,8715	-0,6320	-3,6888	4,7301
σ	0,3033	0,5338	0,8586	3,8389	1,8113
<i>DQM</i>	0,3052	0,1721	0,1785	0,8932	0,8546
Coef. Pearson (<i>r</i>)	0,9236	0,4560	0,7431	0,8858	0,9429

Tabela 4.34. Análise comparativa para uma mudança entre ambiente térmico extremamente frio e de conforto, com indivíduos vestidos: temperatura da pele dos pés (T_{feet}), temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}) e temperatura média do corpo (T_{body}) a realizar atividade R1

	T_{feet} (°C)	T_{skin} (°C)	T_{rectal} (°C)	T_{body} (°C)
δ	-2,5223	-0,3736	-0,4674	-0,6820
σ	3,5794	1,4181	0,1796	0,4981
<i>DQM</i>	0,7331	0,2445	0,0857	0,1441
Coef. Pearson (<i>r</i>)	0,9596	0,8893	0,7700	0,8658

Tabela 4.35. Análise comparativa para uma mudança entre ambiente térmico extremamente frio e de conforto, com indivíduos vestidos. Temperatura da pele: do peito (T_{chest}), do abdómen (T_{adomen}), dos antebraços ($T_{forearms}$), das mãos (T_{hands}) e das pernas (T_{legs}) a realizar atividade R2

	T_{chest} (°C)	T_{adomen} (°C)	$T_{forearms}$ (°C)	T_{hands} (°C)	T_{legs} (°C)
δ	-1,5713	-0,9758	-0,5539	-3,0909	4,8650
σ	0,3271	0,4527	0,9865	3,6463	2,0664
<i>DQM</i>	0,2711	0,1814	0,1892	0,8012	0,8915
Coef. Pearson (<i>r</i>)	0,9113	0,6481	0,6569	0,9018	0,9339

Tabela 4.36. Análise comparativa para uma mudança entre ambiente térmico extremamente frio e de conforto, com indivíduos vestidos: Temperatura da pele dos pés (T_{feet}), temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}) e temperatura média do corpo (T_{body}) a realizar atividade R1

	T_{feet} (°C)	T_{skin} (°C)	T_{rectal} (°C)	T_{body} (°C)
δ	-3,9305	1,0946	-0,4018	-0,4973
σ	4,3696	0,8571	0,1437	0,3836
<i>DQM</i>	0,9856	0,2337	0,0731	0,1071
Coef. Pearson (<i>r</i>)	0,9343	0,8845	0,5792	0,5609

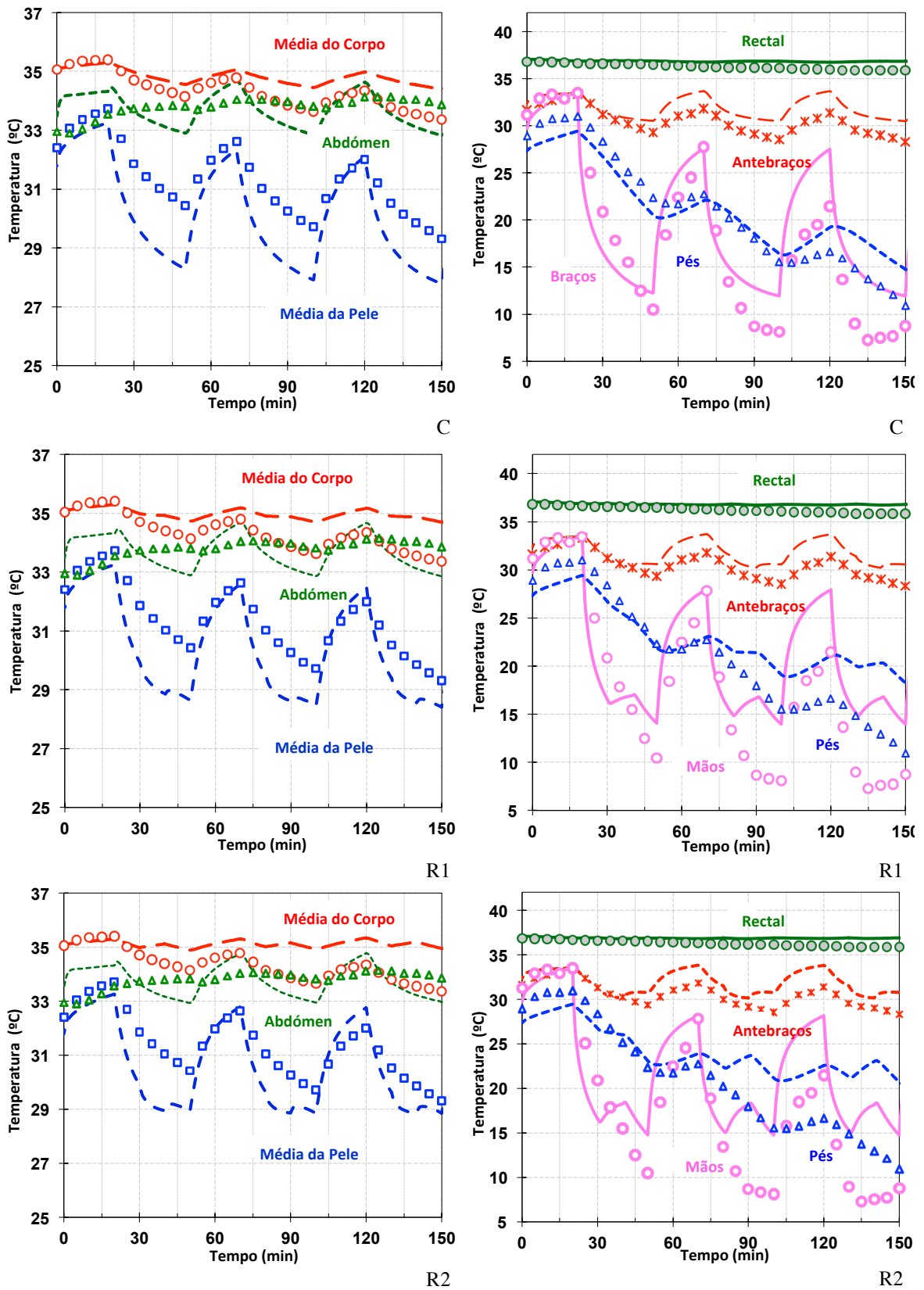


Figura 4.21. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal; temperatura média: da pele e do corpo; temperatura da pele: do abdómen, dos antebraços, dos pés e das mãos, numa mudança de ambiente térmico de conforto para extremamente frio com indivíduos vestidos a realizar as atividades C, R1 ou R2

4.2.2.2. Mudança entre ambiente térmico morno e ligeiramente quente
Nível de atividade baixo (parado ou equivalente)

Apresenta-se na Figura 4.22 a relação entre os valores medidos (pontos) e os previstos (linhas) para a T_{skin} por pessoas em contacto com duas situações, a situação A com uma mudança entre um ambiente térmico morno caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 28^{\circ}\text{C}$, $HR = 60\%$ e $v_{ar} = 0,1 \text{ m/s}$ e outro morno diferente ($T_{ar} = T_{mr} = 25^{\circ}\text{C}$, $HR = 60\%$ e $v_{ar} = 1 \text{ m/s}$); já a situação B apresenta um variação entre um ambiente térmico ligeiramente quente ($T_{ar} = T_{mr} = 32^{\circ}\text{C}$, $HR = 60\%$ e $v_{ar} = 0,1 \text{ m/s}$) e um morno ($T_{ar} = T_{mr} = 25^{\circ}\text{C}$, $HR = 60\%$ e $v_{ar} = 1 \text{ m/s}$). Os resultados experimentais foram conseguidos por Liu *et al.* (2014) em 20 sujeitos do sexo masculino com $h = 1,746(\pm 0,025) \text{ m}$ e $w = 62,9(\pm 5,6) \text{ kg}$, vestindo um uniforme ($I_{cl,global} = 0,5 \text{ clo}$) e sendo B_f e M desconhecidos (foram assumidos os seguintes valores: $B_f = 17\%$ e $M = 0,8 \text{ met}$).

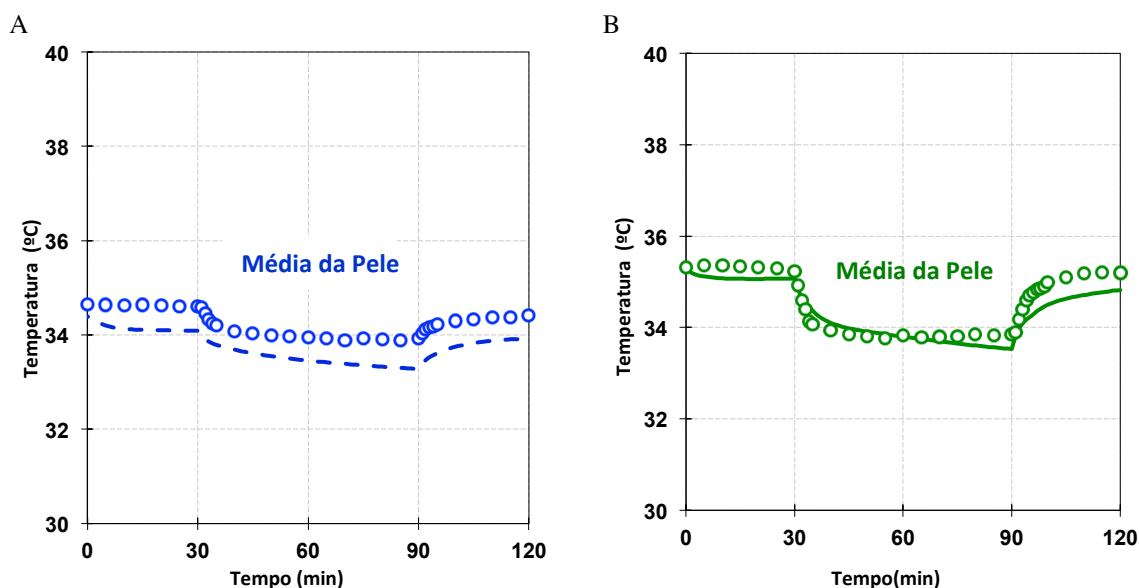


Figura 4.22. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura média da pele numa mudança de ambiente térmico de morno para duas situações: A (28° C) e B (32° C) com indivíduos nus

Na Tabela Tabela 4.37 apresenta-se a analogia, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos pelo programa e os medidos por Liu *et al.* (2014).

Tabela 4.37. Análise comparativa para mudança entre um ambiente térmico morno com A (28° C) e B (32° C), com indivíduos vestidos: temperatura média da pele (T_{skin})

	A - T_{skin} (°C)	B - T_{skin} (°C)
δ	0,4164	0,1895
σ	0,1813	0,2350

<i>DQM</i>	0,0789	0,0492
Coef. Pearson (<i>r</i>)	0,9352	0,9229

Analisando a Tabela 4.37 pode dizer-se que o *r* mostra a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e os medidos para a T_{skin} nas duas situações.

É visível a capacidade do programa para prever com precisão a T_{skin} em A e B. De referir que os valores previstos são mais próximos dos medidos na mudança B, onde há uma mudança mais brusca de ambiente térmico.

Posto isto, o *software* indica ter uma excelente competência de previsão na resposta termofisiológica do corpo humano nas duas simulações presentes.

4.3. Situações Particulares

4.3.1. Indivíduo Nu

4.3.1.1 Variação do nível de atividade

Expõe-se na Figura 4.23 a comparação entre os valores medidos (pontos) e previstos (linhas) para a T_{skin} e T_{rectal} por pessoas submetidas a um ambiente térmico caracterizado por $T_{ar} = T_{mr} = 10^{\circ}\text{C}$, $HR = 30\%$ e $v_{ar} = 0,1 \text{ m/s}$, com a variação da atividade física ao longo da simulação, indicada na Tabela 4.38. Os resultados experimentais foram medidos por Saltin *et al.* (1970) em 3 indivíduos vestindo apenas calções de banho ($I_{cl,global} = 0,1 \text{ clo}$), visto serem desconhecidos h , w e B_f (foram arbitrados os seguintes valores: $h = 1,746 \text{ m}$, $w = 62,9 \text{ kg}$ e $B_f = 17\%$).

Tabela 4.38. Variação da intensidade da atividade realizada pelos indivíduos ao longo do ensaio

Duração(min)	10	25	35	30	30	25	45
M (met)	1,0	3,5	1,0	6,0	1,0	8,5	1,0

Na Tabela 4.39 mostra-se a relação, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos pelo programa e os medidos por Saltin *et al.* (1970).

Tabela 4.39. Análise comparativa para mudança de atividade em ambiente térmico muito frio, com indivíduos nus: temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{skin}) e calor perdido por evaporação (Q_{evap})

	$T_{skin} (^{\circ}\text{C})$	$T_{rectal} (^{\circ}\text{C})$	$Q_{evap} (\text{W})$
δ	-2,3166	-0,1614	109,2705
σ	1,9868	0,3695	91,6048

<i>DQM</i>	0,7528	0,0981	52,2804
Coef. Pearson (<i>r</i>)	0,74111	0,9505	0,8000

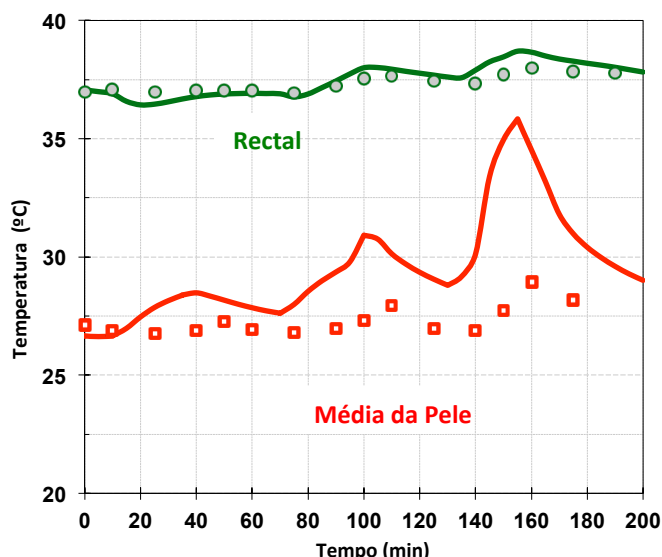


Figura 4.23. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura média da pele e temperatura rectal num ensaio com mudança de atividade com indivíduos nus

Observando as Tabela 4.39 pode afirmar-se que o *r* demonstra a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e os experimentais da T_{rectal} . Já no que toca à T_{skin} , e Q_{evap} , o valor de *r* é inferior, mas mesmo assim sugerindo uma relação forte.

É patente a competência do programa para prever com precisão a T_{rectal} . Por outro lado, a qualidade com que a T_{skin} , e o Q_{evap} são previstos já não é a mesma, pois as função estatísticas δ , σ e *DQM* indicam valores superiores aos esperados.

Conclui-se que a diferença entre os valores previstos e medidos para a T_{skin} é mínima quando *M* assume valores mais baixos mas à medida que vai aumentando passa a haver uma grande discrepância, em particular nos momentos em que *M* aumenta bruscamente. De qualquer modo acho os valores previstos pelo programa mais próximos da realidade, visto que nos valores medidos são apresentados aumentos para a T_{skin} muitas vezes inferiores a 1°C em situações que *M* assume valores muito acima de desporto de alta competição, alguns mesmo praticamente impossíveis de atingir na realidade.

Com isto, pode dizer-se que o *Huthereg* tem uma melhor competência de previsão na resposta termofisiológica do corpo humano para baixos valores de *M* nestas condições.

4.3.2. Indivíduo Vestido

4.3.2.1 Variação do nível de atividade

Na Figura 4.24 representa-se o contraste entre os valores medidos (pontos) e os previstos pelo programa (linhas) para a T_{rectal} por pessoas expostas a um ambiente térmico ligeiramente quente ($T_{ar} = T_{mr} = 35^{\circ}\text{C}$, $HR = 47\%$ e $v_{ar} = 5,0$ m/s) com a variação da atividade física ao longo do tempo indicada na Tabela 4.41 e foram também submetidos a um ensaio num ambiente extremamente quente ($T_{ar} = T_{mr} = 49^{\circ}\text{C}$, $HR = 23\%$ e $v_{ar} = 0,5$ m/s) com a variação de M indicada na Tabela 4.40. Os resultados experimentais foram obtidos por Givoni e Goldman (1972) recorrendo a 4 sujeitos vestindo ($I_{cl,global} = 1,28$ clo) e já que são desconhecidos h , w e B_f (foram assumidos os seguintes valores: $h = 1,72$ m, $w = 74,43\text{kg}$ e $B_f = 17\%$).

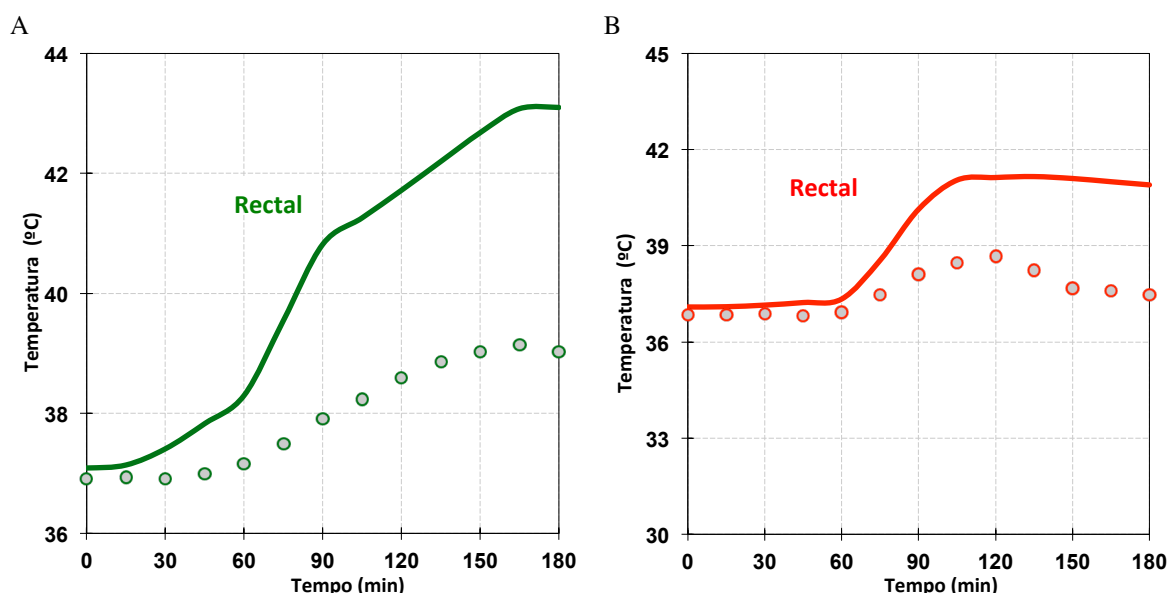


Figura 4.24. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal num ensaio com mudança de atividade com indivíduos vestidos, num ambiente térmico extremamente quente (A) e ligeiramente quente (B)

Tabela 4.40. Variação da intensidade da atividade realizada pelos indivíduos no ambiente térmico extremamente quente

Duração (min)	60	90	30
M (met)	1,0	3,5	1,0

Tabela 4.41. Variação da intensidade da atividade realizada pelos indivíduos no ambiente térmico ligeiramente quente

Duração (min)	60	60	60
M (met)	1,0	5,5	1,0

Na Tabela 4.39 indica-se a analogia, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos pelo *Huthereg* e os medidos por Givoni e Goldman (1972).

Interpretando a Tabela 4.42 pode constatar-se que r mostra a existência de uma excelente relação entre os valores previstos e os experimentais da T_{rectal} no ambiente térmico extremamente quente. Quanto ao ligeiramente quente, o valor de r é inferior, mas mesmo assim sugerindo uma relação forte.

A qualidade com que a T_{rectal} é prevista nos dois ambientes térmicos não é a desejada, pois as função estatísticas δ e σ indicam valores superiores aos pretendidos.

Pode-se verificar que a proximidade entre os valores previstos e os experimentais para a T_{rectal} é mínima quando M toma valores baixos e o contrário quando M aumenta, principalmente nos momentos que M aumenta bruscamente.

Concluindo, pode afirmar-se que o programa tem uma melhor competência de previsão na resposta termofisiológica do corpo humano para baixos valores de M nestas condições.

Tabela 4.42. Análise comparativa para mudança de atividade em ambiente térmico extremamente quente (A) e ligeiramente quente (B), com indivíduos vestidos: temperatura rectal (T_{rectal})

	A - T_{rectal} (°C)	B - T_{rectal} (°C)
δ	-2,2311	-1,7647
σ	1,4714	1,3468
<i>DQM</i>	0,7325	0,6069
Coef. Pearson (r)	0,9879	0,8629

No ANEXO D é apresentado uma simulação com valores medidos por Givoni e Goldman (1972) com variação de atividade e com sucesso na análise comparativa alcançado.

4.3.2.2 Dentro e fora de um abrigo

Nível de atividade baixo (parado ou equivalente)

Na Figura 4.24 indica-se a comparação entre os valores medidos (pontos) e os previstos (linhas) para a T_{rectal} e T_{skin} por pessoas que foram mantidas num ambiente térmico extremamente frio dentro e fora de um abrigo. As condições no interior do abrigo alteram-se a cada 10 minutos: 1ª fase ($T_{ar} = -3,48^{\circ}\text{C}$, $T_{mr} = 4,25^{\circ}\text{C}$, $HR = 62\%$ e $v_{ar} = 0,9$ m/s), 2ª fase ($T_{ar} = -3,81^{\circ}\text{C}$, $T_{mr} = 4,83^{\circ}\text{C}$, $HR = 62\%$ e $v_{ar} = 1,2$ m/s) e 3ª fase ($T_{ar} = -3,81^{\circ}\text{C}$, $T_{mr} = 4,47^{\circ}\text{C}$, $HR = 62\%$ e $v_{ar} = 1,1$ m/s). Fora do abrigo mudam a cada 10 minutos da mesma maneira: 1ª fase ($T_{ar} = -3,48^{\circ}\text{C}$, $T_{mr} = -2,05^{\circ}\text{C}$, $HR = 76,7\%$ e $v_{ar} = 1,7$ m/s), 2ª fase

($T_{ar} = -3,64^{\circ}\text{C}$, $T_{mr} = -2,43^{\circ}\text{C}$, $HR = 80,3\%$ e $v_{ar} = 3,7 \text{ m/s}$) e 3ª fase ($T_{ar} = -3,98^{\circ}\text{C}$, $T_{mr} = -0,89^{\circ}\text{C}$, $HR = 84\%$ e $v_{ar} = 3,4 \text{ m/s}$). Os resultados experimentais foram medidos por Yokoyama *et al.* (2005) com 1 homem vestido ($I_{cl,global} = 1,92 \text{ clo}$) de pé a descansar ($M = 1,2 \text{ met}$), sendo desconhecidos h , w e B_f (foram usados os seguintes valores: $h = 1,72 \text{ m}$, $w = 74,43\text{kg}$ e $B_f = 17\%$).

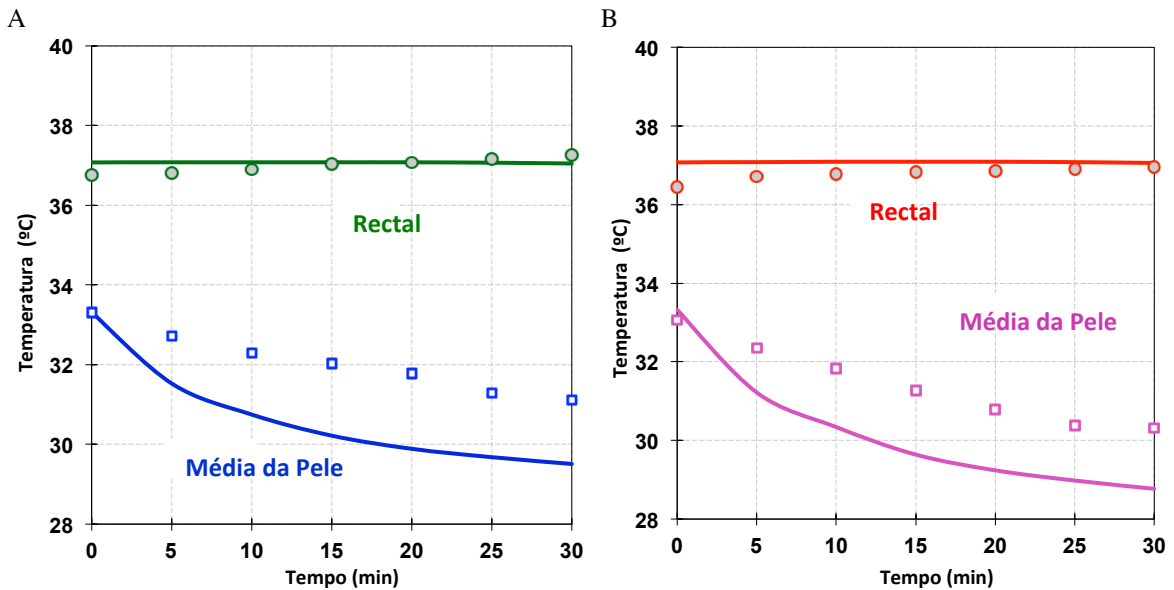


Figura 4.25. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal e temperatura média da pele num ensaio com indivíduos vestidos, num ambiente térmico extremamente frio dentro de um abrigo (A) e fora de um abrigo (B)

Na Tabela 4.39 demonstra-se a relação, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos pelo programa e os medidos por Yokoyama *et al.* (2005).

Tabela 4.43. Análise comparativa em ambiente térmico extremamente frio, com indivíduos vestidos: temperatura rectal (T_{rectal}) e temperatura média da pele (T_{skin}) dentro (A) e fora de um abrigo (B)

	A - T_{rectal} (°C)	A - T_{skin} (°C)	B - T_{rectal} (°C)	B - T_{skin} (°C)
δ	-0,0739	1,3764	-0,2959	1,2136
σ	0,1999	0,6479	0,1681	0,6673
DQM	0,0753	0,5675	0,1264	0,5147
Coef. Pearson (r)	-0,7469	0,9550	-0,2180	0,9648

Observando a Tabela 4.42 pode verificar-se que o r indica a existência de uma excelente analogia entre os valores previstos e os experimentais da T_{skin} dentro e fora do abrigo. Por outro lado, quanto à T_{rectal} o valor de r apresenta uma divergência completa em termos de evolução temporal nos dois casos.

É nítida a capacidade do programa para prever com precisão a T_{rectal} nas duas situações. Por outro lado, a qualidade com que a T_{skin} é prevista já não é a mesma, pois a função estatística δ apresenta valores um pouco superiores aos ambicionados dentro e fora do abrigo.

De qualquer modo, o *Huthereg* indica ter uma boa competência de previsão na resposta termofisiológica do corpo humano nas duas simulações presentes, tendo em conta que não são conhecidos os dados relativos ao indivíduo presente no ensaio experimental.

4.3.2.3 Variação da quantidade de roupa

Nível de atividade baixo (parado ou equivalente)

Na Figura 4.26 mostra-se a relação entre os valores medidos (pontos) e os previstos pelo programa (linhas) para a T_{skin} , T_{rectal} , T_{feet} e T_{hands} por pessoas expostas a quatro situações diferentes. Nos ensaios 30A e 30B, os indivíduos foram expostos a um ambiente térmico extremamente frio ($T_{ar} = T_{mr} = -25^{\circ}\text{C}$, $HR = 86\%$ e $v_{ar} = 0,2$ m/s) durante 20 minutos e depois passaram para outro morno ($T_{ar} = T_{mr} = 30^{\circ}\text{C}$, $HR = 50\%$ e $v_{ar} = 0,2$ m/s) durante o mesmo tempo sendo esta mudança feita por três vezes. Em 10A e 10B, os homens foram submetidos ao mesmo ambiente extremamente frio durante o mesmo tempo e depois passaram para um muito frio ($T_{ar} = T_{mr} = 10^{\circ}\text{C}$, $HR = 50\%$ e $v_{ar} = 0,2$ m/s) com a mesma duração e a mudança a ser realizada o mesmo número de vezes. No ambiente térmico extremamente frio os homens vestiram um nível de roupa ($I_{cl,global} = 2,83$ clo), nas outras condições ambientais para as situações 30A e 10A apresentaram ($I_{cl,global} = 1,96$ clo) enquanto que para 30B e 10B ($I_{cl,global} = 2,80$ clo). Os resultados experimentais foram conseguidos por Ozaki *et al.* (2001) em 13 homens e por Ozaki *et al.* (1998) em 8 homens com $h = 1,69$ m, $w = 61,1$ kg, $M = 1,0$ met e B_f desconhecido (sendo assumido $B_f = 17\%$). Antes dos ensaios, os homens passaram por uma fase de preparação durante 10 minutos, em que foram sujeitos a um ambiente de $T_{ar} = T_{mr} = 22^{\circ}\text{C}$ e vestindo ($I_{cl,global} = 1,96$ clo), não sendo conhecidos os valores de HR , v_{ar} e M (foram assumidos os seguintes valores: $HR = 60\%$, $v_{ar} = 0,2$ m/s e $M = 2,5$ met).

Nas Tabelas 4.44, 4.45, 4.46 e 4.47 expõe-se a analogia, em termos das funções estatísticas entre os valores previstos pelo programa e os medidos por Ozaki *et al.* (2001).

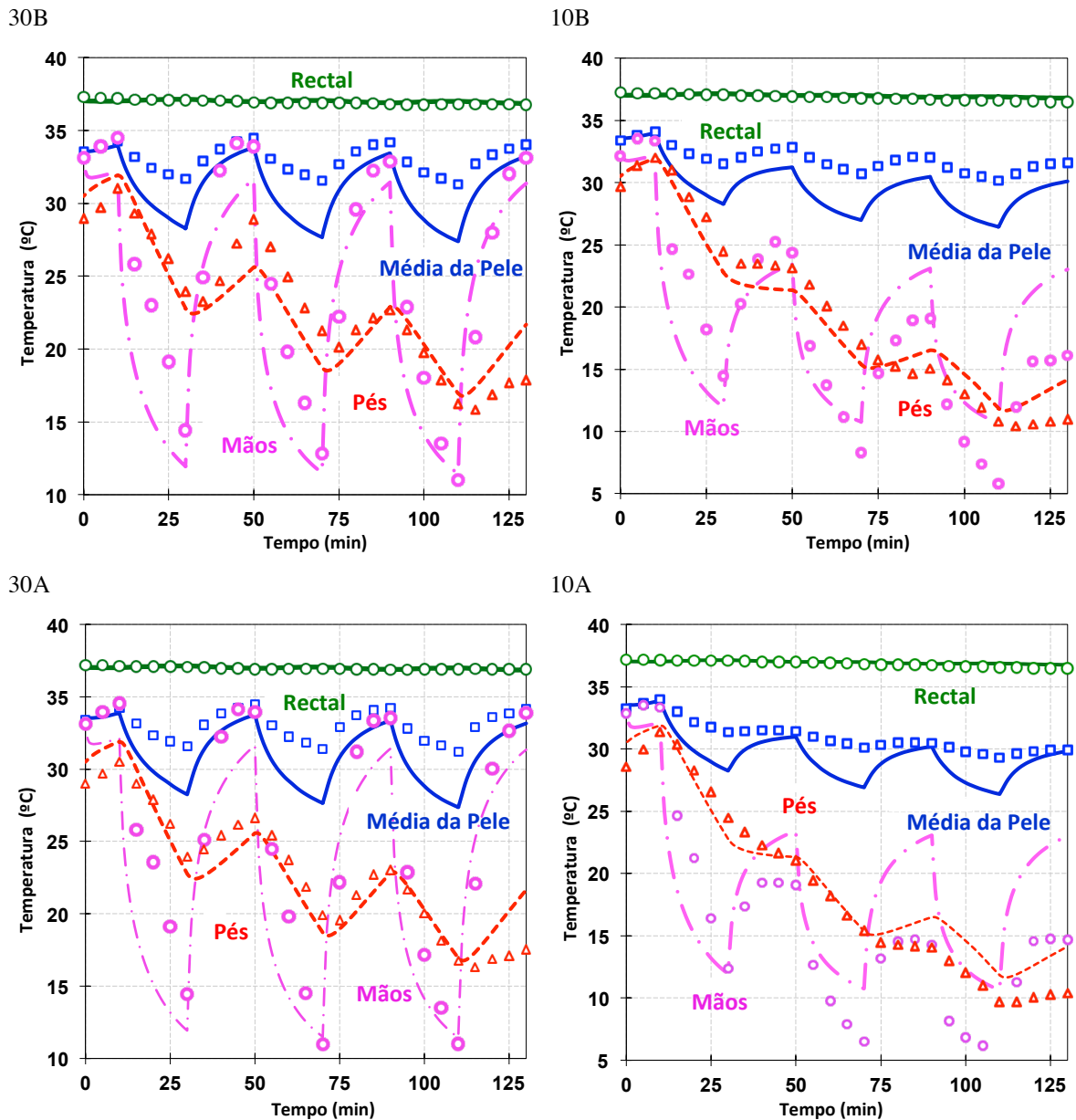


Figura 4.26. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal, temperatura média da pele, temperatura da pele: dos pés e das mãos nos ensaios, 30B, 10B, 30A e 10A

Interpretando as Tabelas 4.44, 4.45, 4.46 e 4.47 pode constatar-se que o r mostra a existência de uma excelente analogia entre os valores previstos e os experimentais da T_{feet} em todas as situações, da T_{skin} em 30A, 30B e 10B, da T_{hands} em 30A e 30B e ainda da T_{rectal} em 10A. Por outro lado o r apresenta uma relação forte para a T_{rectal} no ensaio 10B, a T_{skin} no 10A e a T_{hands} no 10A e 10B. De outra forma, r apresenta uma relação moderada para a T_{rectal} nos ensaios 30A e 30B.

É patente a competência do programa em prever com precisão a T_{rectal} nas quatro situações. Por outro lado, a qualidade com que a T_{skin} e a T_{hands} são previstas já não é a

mesma, pois as funções estatísticas δ e σ indicam valores superiores aos desejados em todas as simulações, quanto à T_{feet} além de apresentar excelentes valores para a δ e DQM , apresenta valores muito altos para σ nas 4 situações em estudo. De salientar que foram obtidos melhores resultados para valores de $I_{cl,global}$ mais baixos e temperaturas mais altas. De qualquer modo, conclui-se que o programa *Huthereg* indica ter uma boa competência de previsão na resposta termofisiológica do corpo humano nas presentes condições.

Tabela 4.44. Análise comparativa com indivíduos vestidos: temperatura rectal (T_{rectal}), temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura da pele: dos pés (T_{feet}) e das mãos (T_{hands}) para o ensaio 30B

	T_{rectal} (°C)	T_{skin} (°C)	T_{feet} (°C)	T_{hands} (°C)
δ	-0,0580	1,9376	0,2025	2,4132
σ	0,1216	1,2301	1,7910	2,9626
DQM	0,0255	0,4393	0,3405	0,7271
Coef. Pearson (r)	0,6659	0,9832	0,9193	0,9324

Tabela 4.45. Análise comparativa com indivíduos vestidos: temperatura rectal (T_{rectal}), temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura da pele: dos pés (T_{feet}) e das mãos (T_{hands}) para o ensaio 30A

	T_{rectal} (°C)	T_{skin} (°C)	T_{feet} (°C)	T_{hands} (°C)
δ	-0,0308	1,9936	0,0061	2,5870
σ	0,0703	1,1580	1,5474	2,8473
DQM	0,0145	0,4416	0,2922	0,7328
Coef. Pearson (r)	0,7052	0,9807	0,9353	0,9387

Tabela 4.46. Análise comparativa com indivíduos vestidos: temperatura rectal (T_{rectal}), temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura da pele: dos pés (T_{feet}) e das mãos (T_{hands}) para o ensaio 10B

	T_{rectal} (°C)	T_{skin} (°C)	T_{feet} (°C)	T_{hands} (°C)
δ	-0,1340	2,2134	0,0412	-1,0014
σ	0,1401	1,0842	1,6443	4,0161
DQM	0,0386	0,4726	0,3106	0,7826
Coef. Pearson (r)	0,8745	0,9535	0,9801	0,8473

Tabela 4.47. Análise comparativa com indivíduos vestidos: temperatura rectal (T_{rectal}), temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura da pele: dos pés (T_{feet}) e das mãos (T_{hands}) para o ensaio 10A

	T_{rectal} (°C)	T_{skin} (°C)	T_{feet} (°C)	T_{hands} (°C)
δ	-0,1097	1,5018	-0,9730	-3,2957
σ	0,1415	1,1190	1,5235	4,2138
DQM	0,0341	0,3580	0,3433	1,0176
Coef. Pearson (r)	0,9283	0,8500	0,9841	0,8492

5 CONCLUSÕES

Ao longo do presente trabalho foram efectuados testes às capacidades do programa *Huthereg*, investigando diversas situações de modo a poder validar o programa em estudo. Conseguiu-se assim identificar a gama de aplicabilidade deste programa e encontrar os seus pontos fortes e fracos, as suas limitações e quantificar a sua fiabilidade. Como base de comparação utilizaram-se resultados experimentais retirados da bibliografia científica.

O programa foi testado numa gama abrangente de situações. Para o efeito, os casos considerados envolveram diferentes ambientes térmicos (de extremamente frio a extremamente quente), com diversos níveis de vestuário (de indivíduos nus até ao uso de vestuário de protecção térmica), com diferentes intensidades de atividade (desde repouso a elevado esforço físico). No caso de indivíduos vestidos foram estudados diferentes níveis de isolamento térmico e com variação da distribuição da roupa pelas várias zonas do corpo humano.

Como ferramentas auxiliares na avaliação do nível de conformidade entre os resultados experimentais e os previstos pelo programa utilizaram-se gráficos, representando a evolução com o tempo ou ao fim de um determinado período de tempo, de temperaturas e fluxos de calor representativos do estado térmico do corpo humano. Recorreu-se ainda às funções estatísticas média aritmética das diferenças relativas (e respectivo desvio padrão), desvio quadrático médio e o coeficiente de correlação de *Pearson*.

O programa simulou com sucesso uma grande parte das simulações efectuadas, sendo digno de destaque:

- Para os diferentes ambientes térmicos não se observaram diferenças significativas de fiabilidade das simulações quer o ambiente fosse extremamente frio, extremamente quente ou qualquer outro intermédio entre estes dois.
- Em termos do vestuário usado pela pessoa também não se encontraram limitações. No entanto a precisão das previsões do programa melhora quanto menor for o isolamento térmico intrínseco do vestuário (I_{cl}), tendo-se obtido a melhor qualidade para os resultados para as situações com indivíduos nus (ou seja, apenas vestidos com calções).

- As mudanças bruscas de ambiente térmico não provocam perda significativa na qualidade das simulações. Numas vezes o programa responde mais rapidamente às mudanças das temperaturas ambientais, noutras atrasa-se, mas sempre sem grande degradação em termos de precisão.
- Já em termos de intensidade da atividade física exercida pela pessoa, existe degradação da qualidade das previsões se houver mudança de nível de atividade (M) de uma fase para a seguinte. Adicionalmente, a precisão dos resultados das simulações é melhor quanto menor for a intensidade do exercício físico exercido.

Embora com algumas exceções, os resultados previstos pelo programa são quase todos eles muito próximos dos medidos experimentalmente. Resumindo:

- As melhores previsões são da temperatura rectal, em que a diferença para os valores medidos é muito pequena. Contudo algumas vezes, mesmo que escassas, o valor do coeficiente de correlação de Pearson é muito baixo.
- Existe quase sempre uma muito boa proximidade de valores para a temperatura média do corpo, para a temperatura do hipotálamo, para o valor médio ponderado da temperatura da pele e para as temperaturas da pele das diversas partes do corpo.
- Embora mesmo assim com resultados relativamente bons, as maiores diferenças foram obtidas para a temperatura da pele das mãos e das pernas. Contudo, mesmo nestes casos o coeficiente de correlação de Pearson mantem a sua excelência.
- Existe quase sempre uma muito boa proximidade entre valores previstos e medidos do nível de calor acumulado (Q_{stored}) no corpo humano e dos fluxos de calor global produzido (Q_{prod}) e perdido (Q_{loss}) e do fluxo de calor perdido por evaporação (Q_{evap}).
- Os piores resultados em termos de fluxos de calor obtiveram-se para o fluxo de calor produzido por via metabólica (Q_{metab}), o qual é quase sempre superior ao valor experimental que foi medido para esse caso específico.

Em resumo, pensa-se ter conseguido atingir os objectivos inicialmente propostos, pois testou-se o programa *Huthereg* para uma gama muito alargada de situações. Obtiveram-se quase sempre bons e muito bons resultados, chegando a ser excelentes em muitos deles. Mesmo quando foram detectadas diferenças entre os valores experimentais e os previstos pelo programa não é garantido que a falha se deve à sua falta de capacidade de previsão. Isto porque na bibliografia, o protocolo que serviu de base aos ensaios experimentais quase nunca vem suficientemente detalhado, a descrição dos ambientes

térmicos vem quase sempre incompleta, o nível de atividade física não aparece quantificado em termos numéricos e nunca é apresentada a distribuição do vestuário pelas diferentes zonas do corpo humano. Para além disto, alguns dos resultados relatados na bibliografia parecem estar deslocados da realidade, talvez por alguma deficiência no processo através do qual foram obtidos. Nalguns destes casos as previsões do *software* parecem ser muito mais realistas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bittel JHM (1987), Heat debt as an index of cold adaptation. *J. Appl. Physiol*, Vol. 62, pp. 1627-1634.
- Bittel JHM, Nonotte-varly C, Livecchi-Gonnot GH, Savourey G, Hanniquet AM (1988), Physical fitness and thermoregulatory reactions in a cold environment in men. *J Appl Physiol*, Vol.65, pp. 1984-1988
- Cohen J (1988), *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ, Erlbaum.
- Dancey C, Reidy J (2006), *Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows*. Porto Alegre, Artmed.
- Fiala D, Lomas KJ, Stohrer M (1999), A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions - the passive system. *J Appl Physiol*, Vol. 87, pp. 1957–1972.
- Fiala D, Lomas KJ, Stohrer M (2001), Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions, *International J. Biometeorology*, Vol. 45, pp. 143-159.
- Gagge AP, Stolwijk JAJ, Hardy JD (1967), Comfort and thermal sensation and associated physiological responses at various ambient temperatures. *Environ Res*, Vol. 1, pp. 1–20
- Givoni B, Goldman RF (1972), Predicting rectal temperature response to work, environment, and clothing. *J Appl Physiol*, Vol. 32, pp. 812–822
- Havenith G, Holmér I, Parsons K (2002), Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production, *Energy and Buildings*, Vol. 34, pp. 581–591.
- Hong LIU, Qing TAN, Bai-zhan LI, Mei-lan TAN, Xiao-Lei MA (2011), Impact of cold indoor thermal environmental conditions on human thermal response, *J. Cent. South Univ. Technol.*, Vol.18, pp. 1285-1292.
- Hong L, Jianke L, Dong Y, Xiuyuan D, Pengchao H, Yu Y, Baizhan L (2014), The response of human thermal perception skin temperature to step-change transient thermal environments, *Building and Environment*, Vol. 73, pp. 232-238.
- Huizenga C, Hui Z, Arens E (2001), A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environments, *Building and Environment*, Vol. 36, pp. 691-699.
- Huizenga C, Zhang H, Duan T, Arens E (1999), An improved multinode model of human physiology and thermal comfort. *Proceedings of IBPSA Building*

- Simulation 99, Kyoto, Vol. 1, pp. 353–359.
- ISO 9920 (2007), Ergonomics of the thermal environment – Estimation of the thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. International Standards Organization, Geneva, Switzerland.
- Kakitsuba N (2004), Dynamic changes in sweat rates and evaporation rates through clothing during hot exposure, *Journal of Thermal Biology*, Vol. 29, pp. 739-742.
- Kim T, Fujita M, Hashiguchi N, Tochihara Y (2005), Physiological responses and performance during exposure to severe cold. In: Holmér I, Kuklane K and Gao G (eds), 11th International Conference on Environmental Ergonomics, ICEE 2005, 22-26 May, Ystad, Sweden, pp. 270-273.
- Konz S, Hwang C, Dhiman B, Duncan J, Masud A (1977), An experimental validation of mathematical simulation of human thermoregulation, *Computers in Biology and Medicine*, Vol. 7, pp. 71-82.
- Makinen T, Gavhed D, Holmer I, Rintamaki H (2000), Thermal responses to cold wind of thermoneutral and cooled subjects. *Eur J. Appl Physiol*, Vol. 81, pp. 397-402
- Munir A, Takada S, Matsushita T (2009), Re-evaluation of Stolwijk's 25-node human thermal model under thermal-transient conditions: predictions of skin temperature in low-activity conditions. *Building and Environment*, Vol. 44, pp. 1777-1787.
- Oliveira AVM, Gaspar AR, Quintela DA (2008), Measurements of clothing insulation with a thermal manikin operating under the thermal comfort regulation mode: comparative analysis of the calculation methods. *Eur J Appl Physiol*, Vol. 104, N° 4, pp. 679-688.
- Oliveira AVM, Gaspar AR, Quintela DA (2011), Dynamic Clothing insulation. Measurements with a thermal manikin operating under the thermal comfort regulation mode. *Appl Ergon*, Vol. 42, N° 6, pp.890-899.
- Ozaki H, Koshimizu H, Tochihara Y (1998), Thermal responses from repeated exposures to severe cold with intermittent warmer temperatures. *Appl Human Sci*, Vol. 17, pp. 195-205
- Pocinho M (2009), ISMT, Estatística básica 1
- Pocinho M (2010), ISMT, Estatística básica 2
- Quintela DA, Gaspar AR, Borges C (2004), Analysis of sensible heat exchanges from a thermal manikin. *Eur J Appl Physiol*, Vol. 92, pp. 663-668.
- Raimundo AM, Gaspar AR, Quintela DA (2004), Numerical modelling of radiative exchanges between the human body and surrounding surfaces. *Climamed 2004 - 1st Mediterranean congress of climatization*, 16-17 of April, Lisbon, Portugal, paper 8/1.
- Raimundo AM, Figueiredo AR (2006), Human thermophysiological response to high intensity radiation fluxes near a forest fire line. *ICFFR 2006 (5th International Conference on Forest Fire Research)*, Figueira da Foz, Portugal, pp S145 (1-16).
- Raimundo AM, Oliveira AVM, Gaspar AR, Quintela DA (2008), Thermophysiological response of human beings working in cold thermal environments. *7i3m – 7th*

- International Thermal Manikin and Modelling Meeting, 3-5 of September, Coimbra, Portugal, pp 1-11.
- Raimundo AM, Figueiredo AR (2009), "Personal protective clothing and safety of firefighters near a high intensity fire front", *Fire Safety Journal*, Vol. 44, pp. 514-521.
- Raven PR, Horvath SM (1970), Variability of physiological parameters of unacclimatized males during a two-hour cold stress of 5 °C, *International J. Biometeorology*, Vol. 14, N° 3, pp. 309-320.
- Ribeiro GA, Rodrigues LOC, Moreira MCV, Silami-Garcia E, Pascoa MRS, Camargos FFO (2004), Thermoregulation in hypertensive man exercising the heat with water ingestion, *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, Vol. 37, pp. 409-417.
- Richards M, Fiala D (2004), Modeling fire-fighter responses to exercise and asymmetric infrared radiation using a dynamic multi-mode model of human physiology and results from the sweating agile thermal manikin. *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 92, pp. 649-653.
- Rossa CG, Cardoso RJP (2004), Modelo de termorregulação do corpo humano, Relatório Apresentado para Aprovação à Disciplina de Seminário, Departamento Engenharia Mecânica da Faculdade Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Saltin BA, Gagge AP, Stolwijk JAJ (1970), Body temperatures and sweating during thermal transients caused by exercise. *J Appl Physiol*, Vol. 28, pp. 318-327
- Stolwijk JAJ (1971), A mathematical model of physiological temperature regulation in man, NASA Contractor Report CR-1855, NASA, Washington, DC.
- Stolwijk JAJ, Hardy JD (1966), Temperature regulation in man - a theoretical study. *Plugers Arch. Ges. Physiol.* Vol. 291, pp.129-162.
- 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.
- Werner J, Reents T (1980), A contribution to the topography of temperature regulation in man, *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 45, pp. 87-94.
- Wissler H (1985), Mathematical simulation of human thermal behavior using whole body models, in: A. Shitzer, R.C. Eberhart (Eds.), *Heat Transfer in Medicine and Biology—Analysis and Applications*, Plenum, New York, London, pp. 325-333.
- Wyndham C, Ward J, Strydom N, Morrison J, Williams C, Bredell G, Peter J, Von Rahden M, Holdsworth L, Van Graan C, Van Rensburg A, Munro A (1964), Physiological reactions of caucasian and bantu males in acute exposure to cold, *Journal of Applied Physiology*, Vol. 19, pp. 538-592.
- Yokoyama S, Yamamoto N, Baba H, Shibayama D, Atsumi Y, Kioka S, Ishizawa T, Ozaki H, Ogawa W (2005), Prediction computer program of whole body temperatures and heat fluxes and its application to evaluate human thermal

responses. International Conference on Environmental Ergonomics, 22-26 May, Ystad Sweden.

Young AJ, Muza SR, Sawka MN, Gonzalez RR, Pandolf KB (1986), Human thermoregulatory responses to cold air are altered by repeated cold water immersion. *J Appl Physiol*, Vol. 60, pp. 1542–1548.

ANEXO A – NÍVEIS DE ATIVIDADE METABÓLICA

Man activity & Status :	
* Description: Man Activity Met Rate Level (1 met = 58.2 W/m ²) *	
* Note1: The values must be in [met] units. Examples: *	
* 0.0 --> The Man is Dead (<= 0.0 --> 0.0)	*
* 0.8 --> Man at Rest on the Bed	*
* 1.0 --> Sitted Man at Rest	*
* 1.2 --> Stand Man at Rest or Sitted doing Soft Work	*
* 1.6 --> Stand Man doing Soft Work	*
* 2.0 --> Man doing Moderate Work	*
* 2.8 --> Man doing Hard Work	*
* 3.6 --> Man doing very Hard Work	*
* >= 4.0 --> Man doing Sports	*
* Note2: For more specific values see Norm ISO 8996:1990(F)	*

Nota: m² → m² de área de pele.

Figura A.1. Relação entre a atividade exercida e o nível metabólico do corpo humano.

ANEXO B – DADOS DE ENTRADA

Human Body Data			
Name:		Nud RT - 10 °C # A	Bittel - JAP 62
9 men			
Human Body Height =	1,750	m	
Human Body Weight =	71,340	kg	
Dubois Skin Area =	1,8587	m2	
Man body fat (5 - 50) =	15,92	%	
Training level (0 - 100) =	50	%	not given
Heart rate at rest (50 - 80) =	78	beats/min	not given
Systolic pressure at rest =	122	mm Hg	not given
Number of phases : Nphases = 3			
Skin emissivity =	0,93		not given
Clothing emissivity =	0,90		not given
Walls emissivity =	0,90		not given
Authors of experimental results :			
1: Jacques H M Bittel, 1987, J Appl Physiol 62 (4): 1627-1634			
Paper with the experimental results :			
1: Jacques H M Bittel, 1987, J Appl Physiol 62 (4): 1627-1634			

Figura B1. Dados de entrada – características gerais da pessoa.

Phase identification	Units	Prep. Phase	t = 0	
		1 ng	2 ng	3
Exposition time :	minutes	30	90	120
Man status (0 or 1) :		Alive	Alive	Alive
Activity met rate (< 8) :	met	0.8	1.30 ng	1.20
Man posture (1 - 4) :		2	3	3
Man turned to (1 - 4) :		1	1 ng	1 ng
Global clothing insulation :	clo	clot-sheet	clot-sheet	clot-sheet
Cloth Vapour Permeab. Effic :		clot-sheet	clot-sheet	clot-sheet
Envolving fluid (1 - 4):		1	1	1
Fluid temperature :	°C	29	28	10
Fluid relative humidity :	%	60	60 ng	40
Fluid velocity :	m/s	0.2	0.7 ng	0.7
Mean radiant temperature :	°C	29	28	10
Type of convection (0 - 4) :		3	3	3
Type of radiation (0 - 4) :		2	2	2
Extra impinging radiation from				
.- North :	W/m2	0	0	0
.- South :	W/m2	0	0	0
.- East :	W/m2	0	0	0
.- West :	W/m2	0	0	0
.- Top :	W/m2	0	0	0
.- Bottom :	W/m2	0	0	0

Figura B2. Dados de entrada – características gerais da pessoa e dos ambientes térmicos

Phase identification	Units	Phase 1 --> N	Phase 2 -> A	Phases 3, 4, 5 -> B
	1 clo = 0.155 m2.C/W		Neutral	Warm
Clothing insulation		ng		
Head front (face) :	clo	0,00	0,00	0,00
Head back (scalp) :	clo	0,00	0,50	1,50
Neck :	clo	0,00	0,80	3,50
Chest :	clo	0,00	1,20	4,00
Abdomen :	clo	0,00	1,20	5,50
Back upper :	clo	0,00	1,20	4,00
Back lower :	clo	0,00	1,20	4,50
Pelvis :	clo	0,00	1,20	4,50
Should left :	clo	0,00	1,30	4,00
Should right :	clo	0,00	1,30	4,00
Arm left :	clo	0,00	1,50	3,50
Arm right :	clo	0,00	1,50	3,50
Forearm left :	clo	0,00	1,50	3,20
Forearm right :	clo	0,00	1,50	3,20
Hand left :	clo	0,00	3,50	0,20
Hand right :	clo	0,00	3,50	0,20
Thigh left :	clo	0,00	3,50	2,50
Thigh right :	clo	0,00	3,50	2,50
Leg left :	clo	0,00	6,00	2,50
Leg right :	clo	0,00	6,00	2,50
Foot left :	clo	0,00	7,00	1,50
Foot right :	clo	0,00	7,00	1,50
Global value :	clo	0,00	3,01	3,25

Figura B3. Dados de entrada – isolamento térmico do vestuário por secção do corpo humano.

		ng		
Clothing mass		ng		
Head front (face) :	kg	0,00	0,00	0,00
Head back (scalp) :	kg	0,00	0,25	0,25
Neck :	kg	0,00	0,10	0,10
Chest :	kg	0,00	0,28	0,28
Abdomen :	kg	0,00	0,30	0,30
Back upper :	kg	0,00	0,28	0,28
Back lower :	kg	0,00	0,28	0,28
Pelvis :	kg	0,00	0,38	0,38
Should left :	kg	0,00	0,08	0,08
Should right :	kg	0,00	0,08	0,08
Arm left :	kg	0,00	0,15	0,15
Arm right :	kg	0,00	0,15	0,15
Forearm left :	kg	0,00	0,14	0,14
Forearm right :	kg	0,00	0,14	0,14
Hand left :	kg	0,00	0,06	0,06
Hand right :	kg	0,00	0,06	0,06
Thigh left :	kg	0,00	0,25	0,25
Thigh right :	kg	0,00	0,25	0,25
Leg left :	kg	0,00	0,15	0,15
Leg right :	kg	0,00	0,15	0,15
Foot left :	kg	0,00	0,64	0,64
Foot right :	kg	0,00	0,64	0,64
Global value :	kg	0,00	4,79	4,79

Figura B4. Dados de entrada – peso (massa) do vestuário por secção do corpo humano.

ANEXO C – SITUAÇÃO PARTICULAR

Ambientes térmicos de conforto a extremamente quente

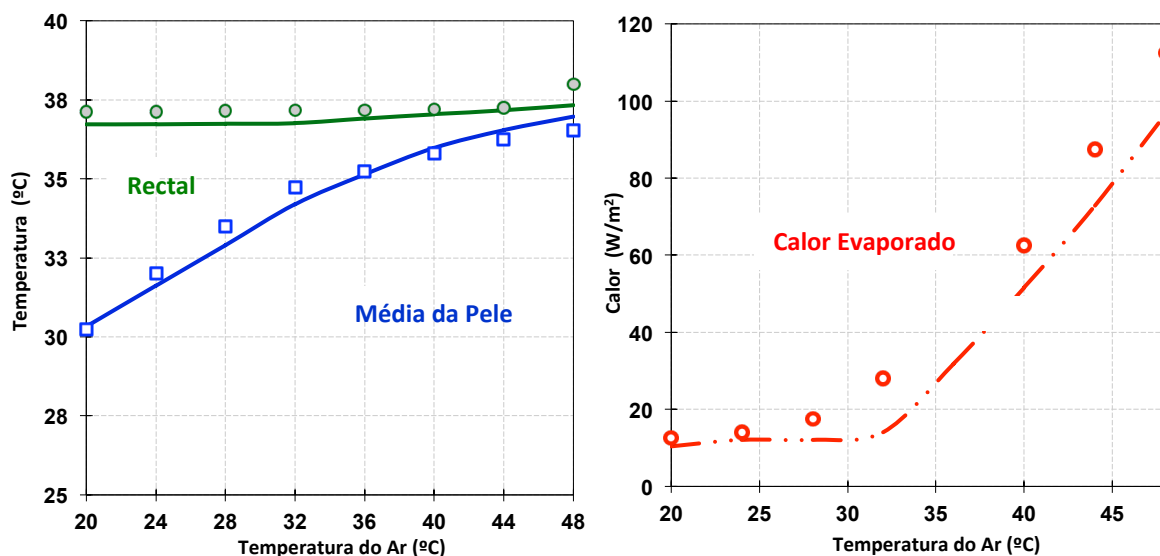


Figura C1. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) obtidos para a temperatura rectal, temperatura média da pele e calor perdido por evaporação por pessoas expostas a ambientes térmicos de conforto a extremamente quente com indivíduos nus

Tabela C1. Análise comparativa para ambientes térmicos de conforto a extremamente quente com indivíduos nus, temperatura média da pele (T_{skin}), temperatura rectal (T_{rectal}) e calor perdido por evaporação (q_{evap})

	T_{skin} (°C)	T_{rectal} (°C)	q_{evap} (W/m ²)
δ	0,0447	0,1893	5,1426
σ	0,2788	0,2229	6,4039
DQM	0,0705	0,0740	2,0772
Coef. Pearson (r)	0,9890	0,7923	0,9947

ANEXO D – SITUAÇÃO PARTICULAR

Varição do nível de atividade

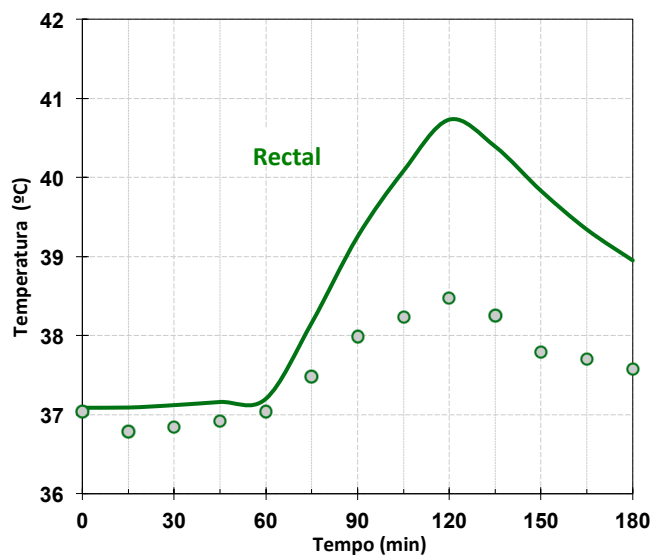


Figura D1. Valores medidos (pontos) e previstos (linhas) para a temperatura rectal num ensaio com mudança de atividade com indivíduos nus, num ambiente térmico ligeiramente quente

Tabela D1. Análise comparativa para mudança de atividade em ambiente térmico ligeiramente quente com indivíduos nus: temperatura rectal (T_{rectal})

	T_{rectal} (°C)
δ	-1,0978
σ	0,8386
DQM	0,3777
Coef. Pearson (r)	0,9755