

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Maria Augusta do Rosário da Silva Roleira Marinho

Estruturas têxteis de elevado isolamento
térmico para condições extremas de frio



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Maria Augusta do Rosário da Silva Roleira Marinho

Estruturas têxteis de elevado isolamento
térmico para condições extremas de frio

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Têxtil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Luís Manuel Meneses Guimarães de
Almeida

Outubro de 2013

DECLARAÇÃO

Nome: Maria Augusta do Rosário da Silva Roleira Marinho

Endereço electrónico: asilva@citeve.pt

Telefone:914923621

Número do Bilhete de Identidade: 09269834

Título dissertação: Estruturas têxteis de elevado isolamento térmico para condições extremas de frio

Orientador(es): Luís Manuel Meneses Guimarães de Almeida

Ano de conclusão: 2013

Designação do Mestrado: Mestrado Integrado em Engenharia Têxtil

DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE.

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura: _____

“A força de vontade e a coragem
vencem qualquer obstáculo”

Aos meus filhos João e Pedro.

AGRADECIMENTOS

Quero exprimir os meus sinceros agradecimentos a um conjunto de pessoas e instituições cuja colaboração foi imprescindível para a concretização desta dissertação.

Ao meu orientador, Prof. Dr^o Luís Manuel Meneses Guimarães de Almeida, quero agradecer a sua total disponibilidade, colaboração, incentivo, encorajamento, dedicação, trabalho, paciência, preocupação e incansável ajuda, o qual teve um papel fundamental para a realização desta dissertação.

Ao meu supervisor no CITEVE, Eng^o José de Almeida Morgado, expresso o meu agradecimento pelo incentivo e apoio na decisão de avançar com esta dissertação, pela sua total disponibilidade e por me proporcionar as condições fundamentais para esta dissertação.

À minha colega, Eng^a Ana Florinda Ramôa, quero agradecer de forma muito especial, pela sua total colaboração, disponibilidade, apoio, incentivo, profissionalismo, abertura total e amizade, pois sem ela esta dissertação não seria possível de concretizar.

À Conceição Novais, agradeço toda a sua amabilidade e disponibilidade no apoio ao desenvolvimento dos protótipos.

Ao CITEVE, agradeço o facto de ter aceitado a minha intenção em realizar esta dissertação e por me ter proporcionado as condições necessárias para a sua concretização, nomeadamente, ter permitido a identificação e seleção de materiais, realização de ensaios laboratoriais e desenvolvimento dos protótipos.

Ao CeNTI, agradeço disponibilidade de meios e equipamentos para a caracterização dos protótipos desenvolvidos.

Agradeço à minha família, amigos, colegas de trabalho e em especial aos meus pais por me terem novamente acolhido na sua casa para poder realizar este trabalho de investigação e por todo o seu carinho e incentivo.

Dedico esta dissertação aos meus dois filhos João e Pedro, e ao meu marido pela sua total compreensão, paciência, apoio e incentivo para não desistir. O seu amor, carinho e atenção foi muito importante para levar a bom porto esta dissertação.

João e Pedro obrigada por me desculparem por não vos ter acompanhado todas as noites ao longo deste trabalho.

TÍTULO E RESUMO

TÍTULO

Estruturas têxteis de elevado isolamento térmico para condições extremas de frio.

RESUMO

O vestuário de elevado isolamento térmico para utilização por praticantes de montanhismo e de outros desportos radicais *outdoor* deverá promover a sua máxima proteção térmica contra condições extremas de frio.

Os principais requisitos do vestuário para utilização em ambientes extremos de frios são o elevado desempenho ao nível de isolamento térmico, confortável, baixa condutividade térmica, leveza, flexibilidade, resistência à compressão, resistência à água e ao vento.

Atualmente, o isolamento térmico do vestuário para condições extremas de frio é promovido por microfibras, fibras ocas, penas, sistemas de controlo ativo de ar, materiais revestidos com alumínio e soluções mistas.

O objetivo da presente investigação consiste no desenvolvimento de um blusão de elevado isolamento térmico, para praticantes de montanhismo e de outros desportos radicais *outdoor* em condições extremas de frio, com melhores propriedades de isolamento térmico relativamente aos existentes no mercado. Pretendeu-se assim maximizar o isolamento térmico minimizando a espessura e o peso dos materiais habitualmente usados, através da investigação de materiais de baixa condutividade térmica (aerogel) e materiais com propriedades refletivas do calor corporal (materiais revestidos com alumínio).

A metodologia de investigação consistiu em realizar a pesquisa bibliográfica dos materiais e blusões de promotores de elevado isolamento térmico para condições extremas de frio, identificar as necessidades dos montanhistas e os requisitos técnicos do novo blusão, desenvolver quatro protótipos do blusão e caracterizar o desempenho do blusão com melhores características.

Desta investigação concluiu-se que os substratos têxteis mais volumosos têm maior capacidade de isolamento térmico do que os mais compactos. São estes últimos que apresentam melhorias mais significativas no valor de resistência térmica após a incorporação do aerogel, contudo, apresentam baixa flexibilidade e maleabilidade. O aerogel para promover um bom isolamento térmico tem de ser usado em quantidades elevadas, no entanto, contribui para a diminuição da flexibilidade e da maleabilidade das estruturas têxteis.

TITLE AND ABSTRACT

TITLE

Textiles materials with high insulation performance for extreme conditions of cold weather

ABSTRACT

The apparel with high level thermal insulation performance should provide high protection of the practices of mountaineering and other radical sports against to the extreme condition of cold weather. The main requirements of the apparel for cold weather are high performance thermal insulation, comfort, low thermal conductivity, lightness, flexibility, compression resistance, waterproof and windproof.

Nowadays, the thermal insulation of the garment for adverse climatic conditions is mainly assured by special microfibers, hollow core fibers, downs, active control systems of air, aluminum coated materials and solutions which combined different thermal insulators materials and technologies.

The aim of the present investigation is to develop a new jacket with high thermal insulation performance for practices of mountaineering and other outdoor radical sports in extreme conditions of cold weather, with better thermal insulation performance than the others in the market. It is proposed increase the thermal insulation properties, decreasing the thickness and the weight of the common materials used, through the investigation materials with low thermal conductivity (aerogel) and materials with body heat reflective properties (aluminum coated materials).

The methodology used consists in the bibliographic search of materials and jackets with high level of thermal insulation properties, the identification of the needs of the mountaineering's practices, the identification of the technical requirements of the new jacket, development of the new jacket and finally the assessment and characterization of the jacket's performance.

This research found that the more bulky textile substrates (with a larger amount of air inside) have a greater thermal insulation capacity than the more compact. It is the most compact that presents higher significant improvements in thermal resistance value after incorporation of the aerogel, however, have low flexibility and suppleness. Aerogel to promote good thermal insulation must be used in large amounts, however, contributes to decreased flexibility and malleability of textile structures.

AGRADECIMENTOS	v
TÍTULO E RESUMO	vii
TÍTULO	vii
RESUMO	vii
TITLE AND ABSTRAT	ix
TITLE	ix
ABSTRAT	ix
INDÍCE	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xvi
ÍNDICE DE TABELAS	xvii
CAPITULO I - INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.3 METODOLOGIA	4
1.4 ESTRUTURA DA TESE	5
CAPITULO II - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 CONFORTO TÉRMICO	6
2.2 INFLUÊNCIA DE AMBIENTES FRIOS NO SER HUMANO	7
2.3 VESTUÁRIO PARA AMBIENTES FRIOS	9
2.4 TRANSFERÊNCIA DE CALOR	10
2.5 ISOLAMENTO TÉRMICO EM VESTUÁRIO	11
2.6 ESTADO DA ARTE DE MATERIAIS E BLUSÕES DE ELEVADO ISOLAMENTO TÉRMICO	13
2.6.1 Nanomateriais	13
2.6.2 Fibras termo-isolantes	16
2.6.3 Penas	23
2.6.4 Sistemas de controlo ativo de ar	26
2.6.5 Materiais metalizados revestidos com alumínio	27
2.6.6 Tecnologias combinadas	28

CAPITULO III - PARTE EXPERIMENTAL	31
3.1 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO	31
3.2 CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS PARA A CONSTRUÇÃO DO BLUSÃO	33
3.3 CONSTRUÇÃO DO 1º PROTÓTIPO DO BLUSÃO	34
3.4 CONSTRUÇÃO DO 2º PROTÓTIPO DO BLUSÃO	40
CAPITULO IV - RESULTADOS E ANÁLISE DA INVESTIGAÇÃO	56
4.1 NECESSIDADES DO PÚBLICO-ALVO	56
4.1.1 Resultados do questionário “Avaliação de Necessidades dos Montanhistas” – Identificação de requisitos do utilizador	56
4.2 CARACTERÍSTICAS DO BLUSÃO	60
4.2.1 Características gerais	60
4.2.2 Croqui técnico	61
4.3 DESENVOLVIMENTO DO BLUSÃO DE ELEVADO ISOLAMENTO TÉRMICO	62
4.3.1 Caracterização de materiais para a construção do blusão	62
4.3.2 Construção do 1º protótipo do blusão	66
4.3.3 Construção do 2º protótipo do blusão	67
4.3.4 Blusão de penas estado da arte	69
4.3.5 Isolamento térmico total das 3 versões do 2º protótipo do blusão e de um blusão do estado da arte	70
4.3.6 Resistência evaporativa em câmara climática da versão 2 do 2º protótipo do blusão	70
4.3.7 Determinação do Isolamento térmico requerido (IREQ) e da duração limite de exposição (DLE) da versão 2 do 2º protótipo do blusão	71
5.1 CONCLUSÕES	74
5.2 PERSPETIVAS FUTURAS	77
BIBLIOGRAFIA	78
ANEXOS	82
Anexo I – Questionário de Avaliação de Necessidades dos Montanhistas	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Aerogel Cabot	13
Figura 2 - Aplicação de aerogel em não-tecido	14
Figura 3 - Aerogel	14
Figura 4 - Valor de resistência térmica por polegada de espessura de alguns materiais isolantes	15
Figura 5 - Variação do valor de resistência térmica por polegada de espessura do aerogel e do poliéster com o aumento de pressão	15
Figura 6 – Utilização de peças de vestuário e de palmilhas com aerogel da Aspen Aerogels™ em condições climáticas extremas: a) Monte Evereste, b) Monte Branco e c) Vale da Morte.	15
Figura 7 - PrimaLoft® ONE	16
Figura 8 - Slogen Light Insulated Jacket	16
Figura 9 - Belay Device Jacket.....	17
Figura 10– Fibras de Thinsulate™ vs Fibras sintéticas tradicionais	18
Figura 11 – Esquema representativo do isolamento térmico do Thinsulate™	18
Figura 12 – Esquema da fibra Nylair	18
Figura 13 – Esquema de funcionamento do Termolite.....	19
Figura 14 – Imagem exemplificativa do Polartec® Thermal Pro® High Loft.....	20
Figura 15 – Esquema representativo da secção transversal da fibra Polarguard®.....	20
Figura 16 – Esquema representativo da impermeabilidade, respirabilidade e estrutura oca dos materiais	21
Figura 17 - Barrier Pro II Belay	21
Figura 18 – Coldfit.....	22
Figura 19 – Fio X-Static	22
Figura 20 - Penas Marmot	24
Figura 21– Blusão desenvolvido pela Marmot® que utiliza penas de ganso como material isolante.	24
Figura 22 - Expedition Down Parka	25
Figura 23 - Dow Alpine Jacket	25
Figura 24 - Himalayan Parka.....	26
Figura 25– Sistema mecânico (imagem da direita) que permite o enchimento das bolsas de ar (imagem da esquerda) que constituem o casaco da AIRVANTAGE™.....	26
Figura 26 – Exemplos de aplicação dos MLI na indústria aeroespacial.....	27
Figura 27 – Substratos metalizados com alumínio por vácuo.....	28
Figura 28 – Casaco Quota Zero	28
Figura 29 – Imagem termográfica	29
Figura 30 – Aerogel	29
Figura 31 – Macrotermes	30
Figura 32 - Construção de componentes do blusão por tecnologia de união ultrassons	35
Figura 33 - Construção de componentes do blusão por tecnologia ultrassons	35
Figura 34 - Componentes do blusão construídos com canais na horizontal	36

Figura 35 - Pré-montagem do blusão para incorporação do aerogel	36
Figura 36 - Incorporação do aerogel nos canais dos componentes do blusão	36
Figura 37 - União dos componentes do blusão por ultrassons após incorporação do aerogel.....	37
Figura 38 - União dos componentes do blusão com costuras convencionais após incorporação do aerogel	37
Figura 39 - União dos componentes do blusão com costuras convencionais após incorporação do aerogel	38
Figura 40 - União dos componentes do blusão após incorporação do aerogel	38
Figura 41 - União dos componentes do blusão após incorporação de aerogel	38
Figura 42 - Aplicação de fita termo-adesiva para acabamento do blusão após incorporação do aerogel	39
Figura 43 - Blusão com incorporação do aerogel	39
Figura 44 - Blusão com incorporação do aerogel	39
Figura 45 – Blusão exterior duas camadas.....	40
Figura 46 - Componentes do blusão com estrutura multicamada.....	41
Figura 47 - Montagem de um dos componentes do blusão	42
Figura 48 - Blusão interior sem as mangas.....	42
Figura 49 - Adesivo co-poliéster em forma de rede - 8g/m ² (AB-TEC)	44
Figura 50 – Membrana metalizada com alumínio.....	44
Figura 51 – Membrana metalizada, adesivo co-Poliéster em forma de rede e não tecido compacto 100% poliéster.....	44
Figura 52 – Laminagem da membrana metalizada com não-tecido compacto através de um adesivo co-poliéster em forma de rede - 8g/m ²	45
Figura 53 – Laminagem da membrana metalizada com não-tecido compacto através de um adesivo co-poliéster em forma de rede - 8g/m ²	45
Figura 54 – Membrana metalizada laminada com não-tecido compacto	45
Figura 55 – Membrana metalizada laminada com não-tecido compacto (avesso técnico)	46
Figura 56 – Costuras convencionais na membrana metalizada (laminada com não-tecido compacto)	46
Figura 57 – União por tecnologia convencional da estrutura multicamada	47
Figura 58 – União por tecnologia convencional da estrutura multicamada	47
Figura 59 – União por tecnologia convencional da estrutura multicamada	47
Figura 60 - Revestimento do não tecido compacto (3 ^a e 7 ^a camada) com aerogel	49
Figura 61 - Montagem do blusão (camada exterior mais interior)	49
Figura 62 - Montagem do blusão.....	49
Figura 63 - Montagem do blusão.....	50
Figura 64 – Blusão com integração de estrutura multicamada.....	50
Figura 65 - Blusão Final	50
Figura 66 – Temperaturas a que o montanhista pode estar exposto	58
Figura 67 – Zona do corpo onde o montanhista sente mais frio	58
Figura 68 – Parâmetros valorizados no ato da compra de um blusão de montanhismo.....	59
Figura 69 – Requisitos técnicos do blusão.....	60
Figura 70 – Croqui técnico da frente do blusão	61
Figura 71 – Croqui técnico das costas do blusão.....	61

Figura 72 – 1º Protótipo do blusão com incorporação do aerogel	66
Figura 73 - Avaliação do isolamento térmico do 1º protótipo efetuada em manequim térmico com base na norma NP EN ISO 15831:2006	67
Figura 74 – 2º protótipo do blusão de elevado isolamento térmico	67
Figura 75 - Avaliação do isolamento térmico do 2º protótipo (versões 1, 2 e 3) efetuado em manequim térmico com base na norma NP EN ISO 15831:2006	68
Figura 76 - Parka Marmot 8000M	69
Figura 77 - Cálculos obtido através da norma normas ISO 11079:2007, de acordo com o pressuposto 1.	72
Figura 78 - Cálculos obtido através da norma normas ISO 11079:2007, de acordo com o pressuposto 2.	73

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

- A – Área da camada têxtil (m^2).
- Clo - Unidade de isolamento térmico de um sistema de vestuário.
- DLE - *Duration limited Exposure*.
- Icl – Isolamento térmico básico do vestuário.
- I_a - Isolamento da camada de ar adjacente com o manequim estático.
- I_{cl,e} - Isolamento térmico efetivo do blusão com o manequim estático
- I_t - Isolamento térmico total do vestuário [m^2KW^{-1}].
- I_r - Isolamento térmico total resultante.
- IREQ - *Required Clothing Insulation*.
- ISO – *International Standard Organization*.
- k - Condutividade térmica de um material.
- K – Coeficiente de transferência de calor.
- L – Espessura.
- m² – Metro quadrado.
- Q - Fluxo de calor.
- R - Resistência térmica de um material.
- R_{cl} - Resistência térmica.
- T_a – Temperatura da superfície exterior da camada têxtil.
- T_s - Temperatura do avesso da camada têxtil.
- T₁-T₂ – Diferença de temperatura.
- W - Coeficiente de transferência de calor [$w/m^2°C$].
- λ - Fator de condutividade. [$w/(m°C)$].

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de resistência determinados a partir da condutividade térmica dos materiais para diferentes espessuras.....	33
Tabela 2 – Principais características dos casacos com elevado isolamento térmico desenvolvidos com o objetivo de cumprirem os requisitos dos montanhistas.....	33
Tabela 3 – Estrutura multicamada 1º protótipo do blusão.....	34
Tabela 4 – Estrutura exterior do 2º protótipo do blusão.....	40
Tabela 5 – Estrutura multicamada versão1.....	41
Tabela 6 – Estrutura multicamada versão2.....	43
Tabela 7 – Estrutura multicamada versão 3.....	48
Tabela 8 – Resistência térmica.....	52
Tabela 9 – Resultados da caracterização de não-tecidos 100% poliéster fibra oca.....	62
Tabela 10 – Resultados da caracterização de não-tecidos 100% poliéster.....	63
Tabela 11 – Resultados da caracterização de não-tecidos 100% poliéster microfibra.....	63
Tabela 12 – Resultados da caracterização de não-tecidos 100% poliéster tratados com aerogel.....	64
Tabela 13 – Resultados da caracterização de não-tecidos 100% poliéster laminados com membrana metalizada.....	65
Tabela 14 - Resultados de caracterização do 1º protótipo.....	66
Tabela 15 - Resultados de caracterização do 2º protótipo.....	68
Tabela 16 - Resultados de caracterização blusão estado arte.....	69
Tabela 17 - Isolamento térmico total das 3 versões do blusão e de um blusão do estado da arte.....	70
Tabela 18 - Tempo de utilização de peças de vestuário em função do tempo de trabalho e valores de R_{et}	71

CAPITULO I - INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

O desenvolvimento de novos materiais têxteis e peças de vestuário como por exemplo blusões com a capacidade de melhorar o desempenho humano é uma tendência de forte crescimento sendo uma das principais áreas que representa maiores desafios e oportunidades para a indústria têxtil. O desporto é uma das áreas de aplicação dos têxteis funcionais onde se tem observado grande dinâmica de evolução. A resposta às necessidades específicas de cada desporto representa uma grande oportunidade para a investigação e desenvolvimento de novos produtos têxteis, nomeadamente, ao nível de melhoria de desempenho, conforto, regulação térmica, durabilidade, segurança, fisiologia e ergonomia.

O montanhismo, também conhecido como alpinismo na Europa, é um desporto, profissão ou prática de escalar ou subir montanhas. É a forma mais difícil de caminhar, que obriga a subidas a altitudes muito elevadas.

Os praticantes desta e de outras atividades ao ar livre são confrontados com uma série de desafios a superar. Um dos maiores desafios para o montanhista é a escalada de montanhas acima dos 8000 metros de altitude (todas nos Himalaias), as montanhas mais altas dos Alpes, Pirenéus, Andes e Montanhas Rochosas, bem como extensas paredes verticais (Torres Trango ou Eiger) (Abc-of-Mountaineering 2013).

O montanhismo deve ser visto como um desporto intermitente, com períodos de intensa atividade alternados com períodos de menor atividade. Esta atividade pode envolver a escalada de montanhas durante períodos diferenciados, transporte de equipamento e descidas. O vestuário para atividades intermitentes deve ser flexível, permitir a sua adaptação e troca. Durante a escalada o corpo humano consome elevada quantidade de energia e gera elevada quantidade calor. Assim, o vestuário deve ser fino, leve, respirável e impermeável à chuva e vento. Por outro lado o vento e o frio aceleram as perdas de calor humano, o que obriga à utilização de peças de vestuário impermeáveis ao vento e isolantes térmicas (Shishoo 2005).

O frio extremo, as encostas e terrenos irregulares são alguns dos obstáculos que o montanhista enfrenta. Nestas situações, o montanhista necessita de estar bem física e mentalmente.

Os aspetos psicológicos dependem da capacidade que a pessoa tem de lidar com a situação enquanto que para maior conforto físico devem ser utilizados materiais têxteis de elevado desempenho adequados a condições extremas de frio.

A prática de desportos *outdoor* em ambientes extremos de frio, exige a utilização de vestuário adequado e leve cuja função básica é a proteção às condições climatéricas de forma a impedir que o vento e a chuva entrem em contacto com o corpo, que o calor corporal saia e em simultâneo que confira elevado conforto térmico e ergonómico (Abc-of-Mountaineering 2013).

É importante conhecer as funções básicas do vestuário *outdoor* de forma a permitir manter o equilíbrio térmico. As orientações básicas de como vestir de forma a garantir isolamento térmico em ambientes frios são: cobrir todas as partes do corpo, manter o corpo seco e vestir camadas de peças de vestuário. É normalmente recomendado um sistema de três camadas de vestuário, sendo considerado um dos sistemas que confere maior proteção possível em determinadas condições climatéricas.

O sistema de camadas de roupas de montanhismo e de desportos ao ar livre consiste em: camada de base, camada de isolamento e camada externa (Abc-of-Mountaineering 2013).

Camada de base (respirável): é a camada que está em contacto direto com a pele. Deve permitir que a humidade do corpo seja libertada para o exterior e evapore rapidamente, mantendo a pele seca e confortável. Consiste em roupa interior térmica produzida em fibras sintéticas que conferem o transporte da transpiração mantendo a pele seca. Devem ser evitadas fibras naturais porque tendem a absorver a transpiração junto da pele e secam muito lentamente.

Camada de isolamento: cria espaços de ar entre as camadas do vestuário, retendo o ar quente e mantém-no em redor do corpo. Deve ser constituída por materiais quentes, leves, resistentes à água, respiráveis, resistentes à compressão e de elevado isolamento térmico.

Camada exterior: proteção contra elementos do ambiente, como humidade, chuva e vento, e deve permitir que a humidade do corpo passe para o exterior e evaporar rapidamente (3M 2012).

Os principais requisitos técnicos da camada de isolamento do vestuário para praticantes de montanhismo e de outras atividades desportivas *outdoor* são: elevado nível de isolamento térmico, leveza, volume muito reduzido, respirabilidade, repelência à água e sujidade, secagem rápida para minimizar as perdas de calor, resistente à compressão, durável, leve e resistente (Abc-of-Mountaineering 2013).

Nos últimos anos, têm sido alvo de investigação e desenvolvimento materiais com elevado nível de proteção às condições extremas de frio (isolamento térmico) para aplicação em vestuário de montanhismo e outras práticas *outdoor*. Alguns aspetos do vestuário disponível no mercado carecem de evolução e otimização, nomeadamente materiais com maior isolamento térmico

comparativamente aos atuais mas com menor espessura e peso, representando um desafio para a ciência.

Ao nível do estado da arte as principais tecnologias promotoras de elevado isolamento térmico em condições ambientais extremas de frio para vestuário de montanhismos e outros desportos *outdoor* baseiam-se em diferentes princípios, nomeadamente materiais nanoporosos (aerogel), microfibras, fibras ocas, penas, sistemas de controlo ativo de ar no interior das peças de vestuário, materiais metalizados revestidos com alumínio e soluções que combinam diferentes materiais e tecnologias de elevado isolamento (Shishoo 2005).

A presente investigação incide no desenvolvimento de um blusão, mais especificamente na camada de isolamento térmico, através da investigação e desenvolvimento de materiais têxteis de elevado isolamento térmico, com elevado nível de proteção contra as condições climatéricas extremas frio.

Pretende-se maximizar o isolamento térmico minimizando a espessura e o peso dos materiais habitualmente usados, através da investigação de materiais de baixa condutividade térmica (materiais nanoporosos - aerogel) e materiais com propriedades refletivas do calor corporal (materiais revestidos com alumínio).

Este novo blusão irá responder aos principais requisitos técnicos e funcionais dos praticantes de montanhismo e ou de outros desportos *outdoor*.

1.2 OBJETIVOS

Investigação e desenvolvimento de um blusão de elevado isolamento térmico (camada de isolamento térmico) para a prática de montanhismo e de outras modalidades desportivas radicais *outdoor* sujeita a condições meteorológicas adversas a temperaturas negativas, com maior capacidade de isolamento térmico, menor espessura e peso comparativamente aos existentes no mercado, através da investigação da aplicabilidade de:

- **Nano-materiais** com baixa condutividade térmica (aerogel - termo-isolante nanoporoso);
- **Materiais refletivos do calor corporal** promotores de isolamento térmico (materiais metalizados revestidos com alumínio);
- **Materiais multicamada:** combinação de materiais têxteis leves, flexíveis, resistentes à compressão, impermeáveis, respiráveis, resistentes ao rasgo e à abrasão e de elevado isolamento térmico.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia usada para a realização da dissertação consistiu nas seguintes fases:

Fase 1 – Definição dos objetivos - Os objetivos do trabalho foram definidos tendo como principal função responder às atuais necessidades existentes ao nível dos substratos têxteis promotores de elevado isolamento térmico para aplicação em vestuário de montanhismo para condições extremas de frio.

Fase 2 - Pesquisa bibliográfica (estado da arte) - Durante esta fase, efetuou-se a pesquisa bibliográfica que serviu de base à elaboração do *estado da arte* referente a este projeto. Foram objeto de pesquisa os temas fundamentais ao projeto, especificamente, materiais têxteis de elevado isolamento térmico com funcionalidades adicionais necessárias para a aplicação alvo.

Fase 3 - Identificação das necessidades do público-alvo - Nesta foi efetuado o levantamento e identificação das necessidades de montanhistas profissionais, que seguiu a seguinte metodologia:

- Entrevistas informais com profissionais da especialidade;
- Elaboração de um questionário que permite identificar os aspetos mais relevantes;
- Identificação e seleção de uma amostra de quatro montanhistas profissionais para preenchimento dos questionários;
- Tratamento e análise dos resultados, que deram início ao processo de especificação dos requisitos dos materiais a desenvolver.

Fase 4 - Identificação dos requisitos técnicos do blusão - Nesta fase foram identificados os requisitos técnicos do blusão a desenvolver tendo como base os requisitos dos utilizadores e o estado da arte.

Fase 5 - Desenvolvimento do blusão de elevado isolamento térmico - Nesta fase foram desenvolvidos quatro protótipos do blusão com materiais têxteis com incorporação de produtos nanoporosos (aerogel), não tecidos, membranas metalizadas com alumínio e outros materiais de elevado isolamento térmico.

Fase 6 - Avaliação e caracterização do desempenho do blusão - Esta fase envolveu a avaliação do desempenho térmico dos quatro protótipos do blusão de elevado isolamento térmico em laboratório. Desta avaliação resultarão dados sobre o isolamento térmico de cada protótipo desenvolvido.

Fase 7 – Redação da dissertação - Esta fase correspondeu à elaboração da dissertação.

Fase 8– Revisão da dissertação – Correspondeu à revisão e correção da dissertação.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

A tese de dissertação está estruturada em cinco capítulos, constituídos pela introdução, revisão bibliográfica, componente experimental, resultados, conclusões, perspectivas futuras e referências bibliográficas.

O capítulo I consiste na introdução que inclui o enquadramento do trabalho, os objetivos, a metodologia e estrutura.

O capítulo II centra-se na revisão bibliográfica onde são abordados os fundamentos teóricos que suportam teoricamente a componente experimental.

O capítulo III expõe a componente experimental, onde se apresentam os principais materiais de elevado isolamento térmico e protótipos do blusão desenvolvidos.

O capítulo IV apresenta os resultados dos blusões de elevado isolamento térmico obtidos na componente experimental e a análise da investigação dos blusões nos resultados.

Por último, no capítulo V são apresentadas as conclusões gerais do trabalho e perspectivas futuras.

É ainda apresentada a bibliografia na qual se baseou a investigação para a elaboração da presente dissertação.

CAPITULO II - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONFORTO TÉRMICO

O Conforto é um complexo estado mental que depende de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos. A norma ISO 7730, 2005 define conforto térmico como “*that condition of mind which expresses satisfaction with the thermal environment*” – “o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico”, que é o caso em que quando não nos sentimos nem muito frios nem muito quentes, e quando a humidade (transpiração) produzida pelo corpo é transportada para o ambiente. A sensação de frio ou de calor, assim como a humidade da pele, determinam o conforto térmico (Williams 2009).

De acordo com a ISO 7730 2005: “A sensação térmica do ser humano está principalmente relacionada com o equilíbrio térmico do corpo. Este equilíbrio é influenciado pela atividade física e pelo vestuário, assim como por parâmetros ambientais, tais como; temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade e humidade do ar”.

Para se garantir conforto térmico é preciso haver equilíbrio entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido pelo mesmo. O grande desafio que se coloca é obter um equilíbrio entre os fatores mencionados, no sentido de manter a pessoa quente e seca, através de vestuário o mais leve possível (Silva, Toledo e Grossmann s.d).

O corpo humano é um sistema termodinâmico que produz calor e interage continuamente com o ambiente para conseguir o balanço térmico indispensável à vivência. Desse modo, existe uma constante troca de calor entre o corpo e o meio, regida pelas leis da física e influenciada por mecanismos de adaptação fisiológica, por condições ambientais e por fatores individuais (Silva, Matos e Silva 2007).

O ser humano é um animal homeotérmico dado que o seu organismo é mantido a uma temperatura interna constante na ordem de $37,0 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$.

A manutenção da temperatura interna do corpo é assegurada quando a quantidade de calor produzido é igual ao fluxo de calor perdido (Williams 2009).

Os fatores que afetam o conforto térmico são a perda ou ganho de calor por radiação, condução e convecção, perda de calor por evaporação da transpiração, condição física da pessoa e o ambiente temperatura ambiente, humidade do ar e movimento do ar. Fanger (1970) definiu várias condições para uma pessoa estar em conforto térmico. Em ambientes frios os factores mais importantes são:

- o corpo deve estar em equilíbrio térmico;

- a temperatura média da pele deve estar dentro dos limites de conforto;
- não deve existir nenhuma parte do corpo em desconforto térmico (Williams 2009).

O conforto térmico depende de parâmetros como o índice de produção de calor corporal (calor metabólico), transferência de calor e de humidade do corpo para o microambiente criado pelo vestuário (área entre a pele e o vestuário) e a transferência de calor e de humidade do vestuário para o meio ambiente.

A sensação de conforto térmico depende da conjugação e da influência de fatores variáveis divididos em:

- variáveis individuais/ organizacionais: vestuário e aclimação.
- variáveis ambientais: temperatura do ar; humidade relativa do ar ou pressão parcial de vapor; temperatura média radiante das superfícies vizinhas; velocidade do ar (Williams 2009).

O conforto térmico é alcançado através do equilíbrio entre os seguintes parâmetros: índice de produção de calor corporal, capacidade de isolamento térmico do vestuário e temperatura ambiente.

Quanto maior for a sensação de incomodidade, cansaço, esgotamentos sufoco, aflição, angústia, menores serão as capacidades de reação do utilizador e o tempo em que poderá desenvolvê-las e, portanto, será maior o seu risco (Silva, Matos e Silva 2007).

2.2 INFLUÊNCIA DE AMBIENTES FRIOS NO SER HUMANO

O frio é um risco para a saúde humana. Os ambientes frios podem ter efeitos adversos nas funções fisiológicas, no desempenho de atividades e no bem-estar geral do ser humano. A estratégia para a proteção ao frio consiste em evitar o arrefecimento corporal e manter o equilíbrio térmico a níveis de temperatura aceitáveis. Um ambiente frio pode ser definido como um ambiente no qual ocorrem perdas de calor superiores ao normalmente esperado (Shishoo 2005).

Um ambiente frio é caracterizado pela combinação de humidade e vento a temperaturas de menos 5°C e superior (EN 14058 2006). Os fatores climatéricos que influenciam as perdas de calor do ser humano são: temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e humidade.

Fatores como a neve e a chuva afetam as trocas de calor por interação com as propriedades de transferência de calor do vestuário.

As trocas de calor entre o corpo e o ambiente ocorrem na superfície da pele por convecção, radiação, condução, evaporação e respiração (Shishoo 2005).

Convecção: o ar em contacto com uma superfície quente aquece e torna-se menos denso. O ar quente sobe e provoca um efeito de “chaminé” junto da superfície da pele. O vento interfere com este processo e reduz a convecção.

Radiação: calor é transportado como ondas eletromagnéticas de uma superfície quente para uma fria.

Condução: calor é transmitido entre duas superfícies em contacto se existirem diferenças de temperatura.

Evaporação: através da produção de transpiração que evapora à superfície da pele o corpo humano pode libertar quantidades significativas de calor. A transpiração é um mecanismo necessário e poderoso para o arrefecimento corporal em resposta aos elevados níveis de calor produzido pelo corpo e/ou pela acumulação de calor externo.

Respiração: a respiração de ar frio arrefece as vias respiratórias e contribui para perdas de calor da pele (Shishoo 2005).

Algumas das consequências da exposição a temperaturas baixas, hipotermia (temperatura corporal do organismo desce para menos de 35°C) são:

- extremidades do corpo adquirem uma coloração vermelho-azulada;
- redução da capacidade motora;
- diminuição da sensibilidade táctil;
- mau estar generalizado;
- comportamento extravagante (hipotermia do sangue que irriga o cérebro);
- a parte exposta fica gelada e os vasos sanguíneos da zona afetada normalmente nas extremidades dos dedos das mãos e dos pés, nas as orelhas e outras zonas expostas da face fecham-se completamente;
- a morte, por ataque cardíaco, ocorre quando a temperatura interior é inferior a 28°C (Shishoo 2005).

2.3 VESTUÁRIO PARA AMBIENTES FRIOS

A função do vestuário é criar uma caixa-de-ar que permite gerar um microclima entre o corpo humano e o exterior, servindo por isso de proteção. A escolha da roupa deve ser cuidadosa já que atua nas trocas de calor por convecção, radiação e evaporação (Magalhães s.d.).

O vestuário para ambientes frios deve diminuir o índice de perdas de calor corporal para o meio ambiente, para níveis em que podem ser equilibrados pelo processo metabólico de geração de calor. Deve conferir proteção à penetração de vento, e conferir isolamento térmico sem comprometer a agilidade e movimentação devido ao volume e deve ainda deverá prevenir as perdas de calor existente nas camadas de vestuários capazes de armazenamento de ar. Ao nível do vestuário quente, o isolamento térmico e a resistência ao vapor de água são os dois principais fatores no controlo da interação do corpo com o meio ambiente. Os aspetos termofisiológicos do vestuário deverão ser tidos em conta de forma a permitirem a criação de um microclima através de vestuário confortável.

Os quatro principais parâmetros ambientais que afetam o conforto térmico em ambientes frios são a temperatura do ar, a humidade relativa, o vento e a temperatura radiante dado que afetam diretamente a transferência de calor para fora do corpo. Assim, o sistema de vestuário deverá permitir o controlo do microclima em diferentes condições.

A distância entre os materiais de isolamento e sua espessura tem influência nas perdas de calor (Williams 2009).

As propriedades térmicas de peça de vestuário, que estão intimamente relacionadas com o conforto térmico do utilizador, envolvem a transferência de calor e de massa entre o corpo vestido e o meio ambiente. A resistência térmica de um sistema de vestuário representa a avaliação quantitativa da barreira térmica que o vestuário promove (Huang 2006). Conhecendo-se a espessura (L) e condutividade térmica (k) de um material têxtil, é possível calcular a sua resistência térmica. A resistência térmica de um material têxtil é função da espessura do material (L) e da sua condutividade térmica (k). Esta função é dada pela seguinte relação:

$$R = L / k, ((m^2 \text{ } ^\circ\text{C}) / W) \quad (1)$$

Quanto maior é o valor de resistência térmica, melhor é o isolamento térmico (Abdel-Rehim et al 2006).

É usual expressar em clo a unidade de isolamento térmico de um sistema de vestuário. 1 clo é igual 0,155 m²KW⁻¹ (ISO 9920:2001).

Os materiais têxteis com elevada permeabilidade ao vapor de água originam um arrefecimento do corpo humano por evaporação. A evaporação da transpiração representa um meio importante de perdas de calor (Huang 2006).

2.4 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Existem vários termos que podem ser utilizados para quantificar a transferência de calor:

Conductividade térmica

Rehim (2006) define a condutividade térmica como a transferência de calor por condução depende da condutividade de calor de um material, isto é, da sua capacidade de transferir calor de um meio quente para um meio frio. As principais características de condução de calor são:

Fator de condutividade λ [W/(m°C)] expressa o fluxo de calor (Q), W, que passa em 1 hora a área (A) de 1 m² de espessura do têxtil (L) a uma diferença de temperatura (T₁-T₂) de 1°C, conforme a seguinte equação:

$$\lambda = QL / At (T_1 - T_2) \quad (2)$$

O coeficiente de transferência de calor K [W/m²°C] expressa o fluxo de calor que passa em 1 hora 1 m² de tecido com a atual espessura, (L) e a diferença de temperatura das duas médias (ar e tecido) 1°C, conforme a seguinte equação:

$$K = Q / At (T_1 - T_2) \quad (3)$$

Resistência térmica R_{ct}

Segundo a norma NP EN 14058 2006, a propriedade de materiais de vestuário ou combinação de matérias pode ser avaliada quanto à sua resistência térmica.

A Resistência térmica R_{ct}, define-se como a diferença de temperatura entre as duas faces de um material dividido pelo fluxo de calor resultante por unidade de área, na direção do gradiente. O fluxo de calor seco pode consistir num ou mais componentes condutivo, convectivo e radiante. A resistência térmica, R_{ct}, expressa em metros quadrados kelvin por watt (m²k/w), é uma característica específica dos materiais têxteis ou compósitos que determina o fluxo de calor seco através de uma dada área, resultante da aplicação de um gradiente de temperatura estacionário (NP EN 14058 2006).

$$R_{ct} = A \cdot \frac{T_s - T_a}{Q} \quad (4)$$

T_s - Temperatura do avesso da camada têxtil (K);

T_a - Temperatura da superfície exterior da camada têxtil (K);

A - Área da camada têxtil (m²);

Q - Fluxo de calor através da camada (W) (Williams 2009).

2.5 ISOLAMENTO TÉRMICO EM VESTUÁRIO

O volume de ar no interior de um conjunto de peças de vestuário é um fator importante para a determinação do seu isolamento térmico. O ar armazenado nas peças de vestuário confere maior isolamento térmico quanto maior for o tempo em que o ar se mantém no interior do sistema de vestuário. Isto acontece porque o ar armazenado no interior do vestuário tem menor condutividade do que as fibras (Lee, Hong e Hong 2007).

O isolamento térmico do vestuário pode ser medido através de um manequim térmico. Segundo a norma NP EN ISO 1583:2006 o isolamento do vestuário é definido como a diferença de temperatura entre a superfície da pele do utilizador e a atmosfera, dividida pelo fluxo de calor seco resultante por unidade de área, na direção do gradiente de temperatura, em que o fluxo de calor seco consiste nas componentes condutiva, convectiva e radiante.

O isolamento térmico total do vestuário I_t , consiste no isolamento térmico total desde a pele até à atmosfera ambiente, incluindo o vestuário e a camada de ar adjacente, medido sob condições definidas com um manequim estático, em m²KW⁻¹.

As temperaturas baixas põem em risco o equilíbrio térmico corporal. Através do vestuário adequado, o ser humano pode controlar e regular as perdas de calor corporal, equilibrando a troca com o clima ambiental. A norma ISO 11079: 2007 *-Ergonomics of the thermal environment – Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects*, descreve um método de avaliação do isolamento térmico do vestuário necessário para manter o equilíbrio térmico corporal.

O IREQ (*Required clothing insulation*) é o isolamento térmico requerido ao vestuário em determinadas condições ambientais para manter o corpo em estado de equilíbrio térmico a níveis aceitáveis de temperatura do corpo e da pele. Na referida norma é identificado um *link* de acesso a um *site* da *internet* através do qual é possível aceder a um programa informático para cálculo do IREQ

(http://wwwold.eat.lth.se/Forskning/Termisk/Termisk_HP/Klimatfiler/IREQ2002alfa.htm).

Segundo esta norma ISO 11079:2007, os sistemas de vestuário para condições extremas de frio deverão ter um IREQ de 3-4,5 clo. É ainda referido que a atividade respiratória é baixa em condições ambientais com temperatura de menos 20°C. A norma classifica o índice metabólico por atividade, e para a prática de montanhismo em condições extremas de frio é considerada um índice metabólico baixo (100 Wm²).

Os materiais à base de lã e penas são altamente isolantes devido às suas características naturais de armazenamento de ar. Os atuais substratos têxteis à base de fibras sintéticas como poliéster fibra oca e poliolefinas microfibras têm sido de certa forma uma alternativa aos materiais naturais os quais proporcionam bom isolamento térmico por unidade de espessura.

Os materiais refletivos principalmente fibras e substratos metalizados (revestidos com alumínio) são usados em vestuário e *kits* de salvamento. Estes materiais fazem com que as perdas de calor corporal por radiação sejam refletidas novamente para a pele, aumentando o isolamento térmico (Shishoo 2005, Williams 2009).

O estado da arte de materiais promotores de isolamento térmico foca-se em materiais têxteis e não têxteis de elevado isolamento térmico e baixa condutividade térmica (termo-isolantes). Estes baseiam-se em diferentes conceitos, estruturas tecnologias e combinação das mesmas, com diferentes índices de isolamento térmico, nomeadamente:

- nanomateriais;
- fibras termo-isolantes: microfibras, fibras ocas e fibras metálicas (alumínio, prata);
- penas;
- sistemas ativos de controlo de ar;
- materiais metalizados;
- materiais combinados (Shishoo 2005).

Apresentam-se de seguida alguns exemplos dos principais produtos que se encontram ao nível do estado da arte.

2.6 ESTADO DA ARTE DE MATERIAIS E BLUSÕES DE ELEVADO ISOLAMENTO TÉRMICO

2.6.1 Nanomateriais

2.6.1.1 Aerogel

Pela vigilância tecnológica dos materiais atualmente utilizados para isolamento térmico em condições climáticas extremas de frio, é possível observar que alguns deles recorrem à nanotecnologia sendo um dos exemplos o aerogel.

O aerogel é composto por mais de 90 por cento de ar sendo um isolante de elevado desempenho e o sólido com menor condutividade térmica. Trata-se de um material fino, muito leve, resistente à compressão, não necessita de muito volume para promover bons valores de resistência térmica, não comprime nem perde desempenho com pressão, impermeável à água, respirável e resistente à lavagem em condições normais e à limpeza, sendo adequado para aplicação em produtos *outdoor* (Aspen 2012).

O aerogel é conhecido como *“frozen smoke”* devido à sua semelhança com “fumo congelado” e é considerado o material sólido mais leve e com melhores propriedades de isolamento térmico do planeta (Cabot 2013).



Figura 1 - Aerogel Cabot (Cabot 2013)

Os tradicionais materiais usados para isolamento térmico, dependem do ar que armazenam para conferirem o isolamento. Sobre pressão, o calor é libertado para o exterior, diminuindo drasticamente o seu desempenho térmico. No caso do aerogel, o ar é armazenado nos poros onde retém o ar quente mesmo em situações de compressão. Apresenta também propriedades hidrofóbicas, elevada respirabilidade, bloqueia a transferência de calor mesmo em condições extremas de frio, não perde a compressão nem se degrada ao longo tempo (Cabot 2013).

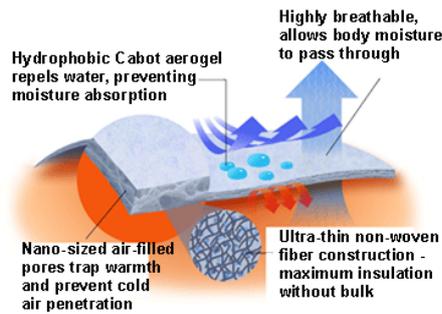


Figura 2 - Aplicação de aerogel em não-tecido (Cabot 2013)

Uma forma de melhorar as propriedades das estruturas têxteis geralmente utilizadas para conferir isolamento térmico seria funcionalizá-las com um material que apresentem propriedades isolantes muito boas, ou seja elevada resistência térmica. O aerogel devido às suas características e propriedades pode ser muito útil para este tipo de aplicação (Moura 2009). A sua condutividade térmica é na ordem dos 0,02W/mK à pressão atmosférica, sendo este valor 100 vezes menor do que a condutividade térmica da sílica, e menor do que a do ar (Dorchech e Abbasi 2008).

A Aspen Aerogels™ e a Cabot Aerogel recorreram à nanotecnologia para o desenvolvimento de produtos têxteis de elevado isolamento térmico, resistentes e flexíveis através da incorporação de aerogel em diferentes estruturas (Aspen 2013) (Cabot 2013).

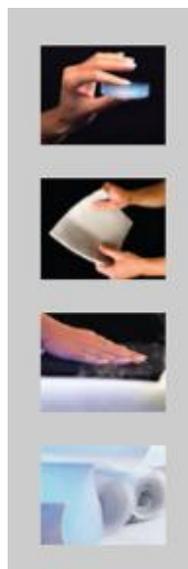


Figura 3 - Aerogel (Aspen 2012)

O valor de resistência térmica ($1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$) do aerogel é bastante superior ao dos materiais normalmente utilizados para isolamento térmico (ver Figura 4). A resistência térmica não se altera

com a pressão o que normalmente não acontece com os materiais isolantes convencionais (ver Figura 5).

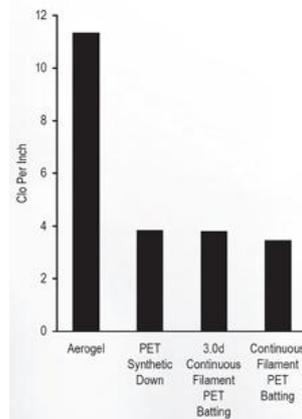


Figura 4 - Valor de resistência térmica por polegada de espessura de alguns materiais isolantes (Aspen 2013).

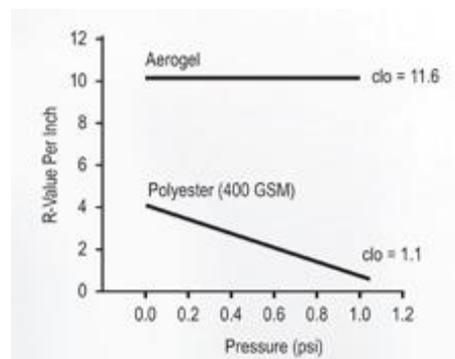


Figura 5 - Variação do valor de resistência térmica por polegada de espessura do aerogel e do poliéster com o aumento de pressão (Aspen 2013).

A Aspen Aerogels™ aplicou este material em peças como blusões, botas, palmilhas e sacos cama que foram testados em condições climáticas extremas, nomeadamente no Monte Evereste, Monte Branco e Vale da Morte (ver Figura 6) (Aspen 2012).



Figura 6 – Utilização de peças de vestuário e de palmilhas com aerogel da Aspen Aerogels™ em condições climáticas extremas: a) Monte Evereste, b) Monte Branco e c) Vale da Morte. (Aspen 2012).

2.6.2 Fibras termo-isolantes

2.6.2.1 Microfibras

As microfibras ou fibras finas promovem o isolamento térmico através do armazenamento das moléculas de ar entre a pessoa e o meio externo. Quanto maior for a quantidade de ar que um material armazena melhor é a sua capacidade de isolamento térmico (3M 2012).

PrimaLoft® ONE

É constituído por microfibras ultra finas à base de poliéster com propriedades termo isolantes. Estas fibras formam pequenas bolsas de ar e conseqüentemente preservam o calor corporal sem criar volume. Apresentam elevado desempenho ao nível de isolamento térmico, resistência à água, suavidade e compressibilidade (ver figura 7). PrimaLoft® ONE é quente em estado seco e molhado, extremamente leve, respirável, resistente ao vento, compressível e seca rápido (Primaloft 2013).

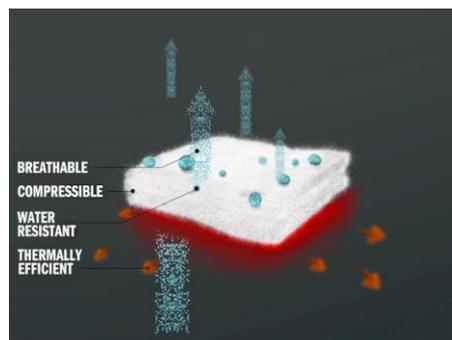


Figura 7 - PrimaLoft® ONE (PrimaLoft 2013)

Um exemplo de um blusão com a aplicação do PrimaLoft® ONE é o Slogen Light Insulated Jacket da Bergans (ver figura 8). Este blusão pesa cerca de 430g e o não-tecido PrimaLoft® ONE usado é de 60g/m² (Bergans 2013a).



Figura 8 - Slogen Light Insulated Jacket (Bergans 2013a)

A empresa Patagonia também desenvolveu blusões, designados por DAS Parka de elevado isolamento térmico recorrendo à utilização do não tecido PrimaLoft® Synergy de 120g combinado com o PrimaLoft® ONE de 60g (Patagonia 2013).

PrimaLoft® Soft

Esta tecnologia combina fibras ultrafinas de poliéster com fibras de diferentes diâmetros. O tratamento das fibras ultrafinas faz com que o material seja impermeável e as fibras com diferentes diâmetros ajuda a que a estrutura final seja mais leve e fofa. Este material é geralmente utilizado em casacos para isolamento térmico em ambientes frios (Marmot 2011).

PrimaLoft® Sport

A empresa Millet desenvolveu blusões e parkas com diferentes tecnologias de isolamento térmico, nomeadamente com o Belay Device Jacket (ver figura 9) com isolante térmico PrimaLoft® Sport (Millet 2013).



Figura 9 - Belay Device Jacket (Millet 2013).

Thinsulate™ da 3M

Microfibras poliéster com aplicação na área do isolamento térmico para ambientes frios. O diâmetro das fibras Thinsulate™ é de cerca de 15 micrómetros. Este valor é 10 vezes mais pequeno do que o diâmetro das fibras de poliéster normalmente utilizadas para isolamento térmico, o que permite a acumulação de uma maior quantidade de ar num espaço menor (ver figura 10). Esta característica, para além de reduzir a transferência de calor por condução, permite uma maior reflexão do calor produzido pelo corpo humano, o que faz com que este material tenha boas propriedades de isolamento térmico (ver figura 11).



Figura 10– Fibras de Thinsulate™ vs Fibras sintéticas tradicionais (3M 2012).

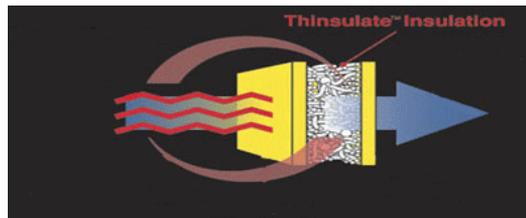


Figura 11 – Esquema representativo do isolamento térmico do Thinsulate™ (3M 2012).

O Thinsulate™ promove um conforto térmico de 6,5 Clo por polegada de espessura, sendo adequado para promover isolamento térmico em condições de frio extremo, no entanto é necessária a utilização de várias camadas de Thinsulate™ (3M 2012).

Nylair

Nylair da Nylstar, representada na figura 12, é uma fibra de poliamida que apresenta a mesma espessura que as poliamidas convencionais e é cerca de 25 a 30% mais leve do que estas. Assim, para a mesma unidade de superfície (peso/m^2), a fibra Nylair tem um desempenho de isolamento térmico cerca de 25% superior à de uma poliamida convencional (Nylstar 2012).

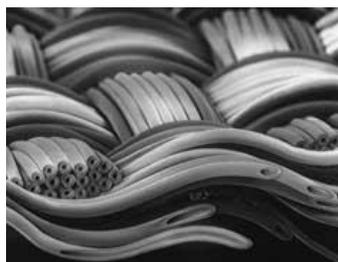


Figura 12 – Esquema da fibra Nylair (Nylstar 2012)

2.6.2.2 Fibras ocas

As fibras ocas através da sua capacidade de armazenamento do ar proporcionam um bom isolamento térmico. Promovem calor e conforto, sem peso, mesmo quando molhadas, porque têm a capacidade de secagem muito rápida. Quanto maior for a área de superfície mais rápida é a evaporação da humidade, através do espalhamento da humidade da pele para o substrato têxtil,

onde evapora mais rapidamente (Advansa 2012). O conceito de fibras ocas nasce da descoberta de que os ursos polares têm milhares de micro-bolsas de ar que aumentam o isolamento térmico.

Advansa

Thermolite é um não-tecido da Advansa, composto por fibras ocas de poliéster, que lhe confere leveza e elevada resistência térmica através da capacidade de armazenamento de ar. Esta tecnologia permite boa conservação do calor corporal sem aumentar o peso devido à maior superfície de área das estruturas têxteis. Possibilita ainda uma evaporação rápida da humidade que é transportada da pele até a superfície do tecido (ver figura 13) onde evapora mais rapidamente (Advansa 2012).

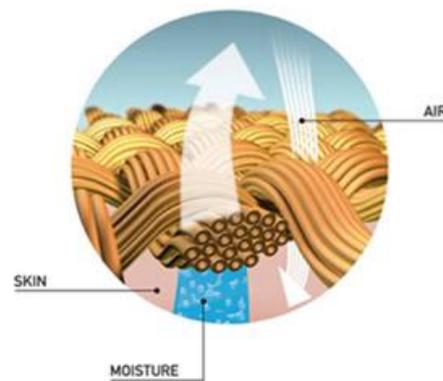


Figura 13 – Esquema de funcionamento do Termolite

Polartec®

Estrutura têxteis com aplicação em vestuário outdoor e que se caracteriza por manter o corpo seco, quente e promover a proteção contra as condições climatéricas exteriores.

O material Polartec® Thermal Pro® High Loft, representado na figura 14, caracteriza-se por aliar elevada resistência térmica, elevada compressibilidade e respirabilidade numa estrutura de baixa massa por unidade de área o que potencia a sua aplicação em condições climáticas extremas nos casos em que a rentabilização de peso e volume são importantes.



Figura 14 – Imagem exemplificativa do Polartec® Thermal Pro® High Loft
O elevado desempenho do Polartec® Thermal Pro® High Loft deve-se à sua estrutura aberta. Esta promove a compressibilidade do material, minimiza o seu peso e maximiza a sua resistência térmica. Este produto é 20% mais eficaz em termos de isolamento térmico e 40% mais compressível do que a lã convencional (Polartec 2012).

Polarguard®

Fibra têxtil de poliéster de elevado isolamento térmico para condições climáticas de frio extremo. O Polarguard® 3D e o Polarguard® HV são caracterizados pela sua durabilidade, compressibilidade e elevada resistência térmica. Estas propriedades devem-se ao filamento fino e contínuo que os constituem. A estrutura oca deste filamento promove o desempenho térmico e a compressibilidade destes materiais e a forma triangular da secção transversal do interior do filamento favorece a sua durabilidade, prevenindo o colapso da estrutura oca (ver figura 15).



Figura 15 – Esquema representativo da secção transversal da fibra Polarguard®

O Polarguard® X200 apresenta características semelhantes às dos produtos mencionados anteriormente e é muito compressível. Tais propriedades potenciam a sua aplicação em desportos outdoor de Inverno. Os produtos da Polarguard® possuem um bom desempenho térmico e são respiráveis e impermeáveis (ver figura 16).

O ar existente na estrutura oca dos filamentos que constituem os materiais da Polarguard® favorece o seu desempenho de isolamento térmico. Esta estrutura favorece ainda a massa por unidade de área e a resiliência destes materiais tornando-os leves e com uma textura “fofa”. A forma triangular da secção transversal das fibras previne o colapso das mesmas (Polarguard 2012).

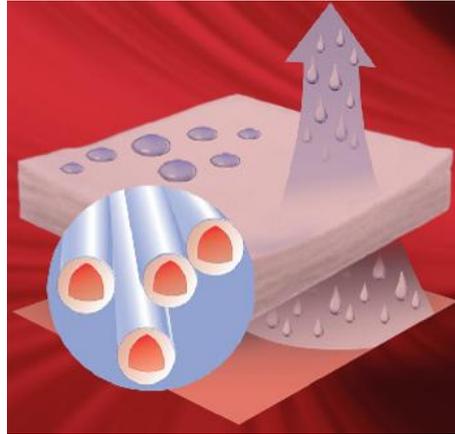


Figura 16 – Esquema representativo da impermeabilidade, respirabilidade e estrutura oca dos materiais (Polarguard 2012)

Haglöfs

O blusão Barrier Pro II Belay da Haglöfs, representado na figura 17, é um dos exemplos que integra fibras ocas de poliéster 100% recicladas para promoção de isolamento térmico. Pesa 480g (Haglöfs 2013).



Figura 17 - Barrier Pro II Belay (Haglöfs 2013)

Coldfit

Fato de isolamento térmico destinado a trabalhadores que desenvolvem a sua atividade profissional em ambientes frios, representado na figura 18. Este equipamento de Proteção Individual (EPI) responde a requisitos de conforto, ergonomia, isolamento térmico, higiene e segurança, mobilidade e durabilidade. É constituído por três camadas entre as quais a camada interior é isolante térmica à base de não-tecido Thermolite. Esta camada é constituída por um não-tecido em poliéster microfibras que tem bom desempenho térmico e elevada durabilidade. O tamanho reduzido das fibras permite

não só uma rápida evaporação, como a otimização da relação entre o peso da estrutura e o isolamento térmico conferido (Coldfit 2012).



Figura 18 – Coldfit (Coldfit 2012)

2.6.2.3 Fibras metálicas

É do conhecimento geral que as fibras metalizadas podem melhorar significativamente a eficiência de bloqueio da radiação devido ao seu elevado desempenho de refletivo. Para materiais de elevado isolamento térmico podem ser incorporadas camadas de materiais refletivos para bloqueio da transferência de calor radiativa (Wa e Fan 2012).

X-Static

É uma fibra com cerca de 15 a 21% de prata (pureza 99,9%), o que confere propriedades antimicrobianas, anti-estáticas e termo-isolante.

A fibra X-Static é constituída por uma camada fina de prata pura à superfície resultante de um processo de laminagem. Pode ser utilizada na produção de tecidos, não tecidos, malhas e fios (ver figura 19).



Figura 19 – Fio X-Static (X-Static 2012)

As principais propriedades que a caracterizam são a condutividade térmica (a prata é um elemento muito bom condutor), a respirabilidade (quando combinada com outros materiais hidrofóbicos), a refletividade (a prata tem um índice de refletividade no infravermelho superior a 95%. Cerca de 95%

da energia radiativa que entra em contato com a prata é refletida para a sua origem). A aplicação do X-Static na camada interna de uma peça de vestuário maximiza as propriedades de isolamento térmico deste material por minimizar as perdas de calor por radiação, e a emissividade (a prata apresenta baixos valores de emissividade, ou seja, a irradiação de energia térmica neste material é efetuada de uma forma muito lenta. Tal característica torna possível a aplicação do X-Static em peças de vestuário para isolamento térmico em ambientes frios) (X-Static 2012).

2.6.3 Penas

As penas têm a capacidade de armazenar grandes quantidades de ar e conseqüentemente têm propriedades de elevado isolamento térmico.

A qualidade das penas é determinada pelo seu poder de enchimento e durabilidade que depende da idade/maturidade da ave e do processamento das penas. As penas de melhor qualidade são as de aves maduras e as de gansos são melhores do que as de pato, isto, quando a idade e maturidade são iguais. As penas mais maduras dos gansos têm conjuntos de filamentos maiores do que as penas menos maduras. Estes conjuntos, quando agrupados, proporcionam muitas mais bolsas de ar e conseqüentemente melhor isolamento. Para maximizar a eficácia das penas, é necessário que o seu processamento (triagem, lavagem e secagem) seja adequado e que as “abra”.

Maior poder de enchimento significa maior volume, melhor isolamento, menor peso e elevada durabilidade.

Marmot®

Desenvolve produtos de elevado isolamento térmico para condições extremas de frio, tais como casacos, luvas, sacos cama, etc. A Marmot® recorre a diferentes materiais isolantes, nomeadamente penas.

As penas (*down*) são leves e macias existentes na base das pernas das aves aquáticas. Estas têm uma estrutura multidimensional que para além de ser muito confortável e respirável é termo-isolante pela criação de bolsas de ar que retêm o calor libertado pelo corpo. As penas utilizadas pela Marmot®, representadas na figura 20, são geralmente penas de ganso.

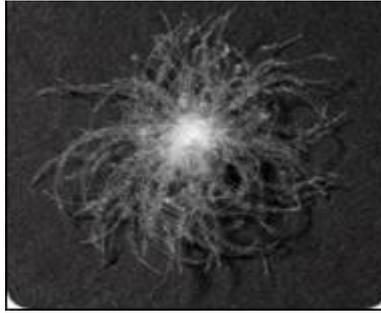


Figura 20 - Penas Marmot (Marmot 2012)

O blusão da Figura 21, designado por 8000M Parka é geralmente utilizado por alpinistas profissionais em ambientes até 8000 metros de altitude. O elevado isolamento térmico promovido por este casaco deve-se às penas de ganso existentes no seu interior. Pesa cerca de 1389g (Marmot 2012).



Figura 21– Blusão desenvolvido pela Marmot® que utiliza penas de ganso como material isolante.

Bergans

Esta empresa para além de recorrer a outras tecnologias promotoras de isolamento térmico, utiliza as penas para promover o isolamento térmico dos seus produtos de vestuário para aplicação em condições extremas de frio. O blusão apresentado na figura 22 tem um sistema de isolamento constituído por penas e pesa cerca de 1430g e o peso do enchimento de penas é 516g (Bergans 2013b).



Figura 22 - Expedition Down Parka (Bergans 2013b)

Millet

Uma de várias tecnologias de isolamento térmico adotadas pela Millet para o desenvolvimento de vestuário para condições extremas de frio, são as penas. A empresa Millet lançou o Dow Alpine Jacket apresentado na figura 23, que é constituído por penas de pato responsáveis por conferir elevado isolamento térmico (Millet 2013).



Figura 23 - Dow Alpine Jacket (Millet 2013)

The North Face

A empresa desenvolveu a Himalayan Parka, apresentado na figura 24, o qual recorreu a integração de penas de ganso para promover o isolamento térmico. Esta parka pesa cerca de 1490g (The North Face 2013).



Figura 24 - Himalayan Parka, (The North Face 2013).

2.6.4 Sistemas de controlo ativo de ar

Os sistemas de controlo ativo de ar caracterizam-se por permitirem o controlo do conforto através do ajuste ativo do sistema de isolamento. O isolamento térmico baseia-se na insuflação de ar, por sopro numa válvula ou libertação do mesmo, gerindo-se desta forma a quantidade de ar introduzida no sistema e conseqüentemente o nível de isolamento térmico. Este tipo de sistema pode ser facilmente integrado numa peça de vestuário sem alterar o número de camadas de vestuário.

Gore-Tex

O AIRVANTAGE™, apresentado na figura 25, é um produto da Gore-Tex® que permite o ajuste, por parte do utilizador, do nível de isolamento térmico promovido, em detrimento da remoção ou adição de camadas de peças de vestuário. Tal facto deve-se a um sistema mecânico inserido no casaco que possibilita o enchimento ou esvaziamento de bolsas de ar que o constituem. Quanto maior for a quantidade de ar inserida no interior destes compartimentos mais isolante é o material (Gore-Tex 2011) (Airvantage 2011).



Figura 25– Sistema mecânico (imagem da direita) que permite o enchimento das bolsas de ar (imagem da esquerda) que constituem o casaco da AIRVANTAGE™ (Gore-Tex 2011)

2.6.5 Materiais metalizados revestidos com alumínio

Os materiais metalizados ou revestidos com alumínio são ideais para produtos com propriedades de barreira radiante. São normalmente usados em sistemas de proteção térmica a temperaturas que podem variar entre -23°C to $+40^{\circ}\text{C}$.

A DUNMORE® produz materiais com elevado isolamento térmico para várias indústrias incluindo a aeroespacial. Para além da produção de filmes de desempenho térmico, a DUNMORE® produz um filme que funciona como uma barreira à transferência de calor por radiação (na ordem dos 95%). As principais tecnologias desenvolvidas por esta empresa são:

- *Multi-layer insulation*

DUNMORE® é o fornecedor principal de filmes isolantes para altas temperaturas do Wendelstein 7-X. Este é um reator de fusão nuclear experimental, onde se utilizou-se o Multi-layer Insulation (MLI) para reduzir a condução e a radiação de calor para os componentes externos (ver figura 26). O material MLI é flexível e tem boas propriedades de isolamento térmico. A sua aplicação não se limita ao isolamento térmico para altas temperaturas, pode variar entre os -100°C e os 150°C .

O isolamento térmico deve-se a camadas de poliamida e/ou poliéster com deposição de alumínio.

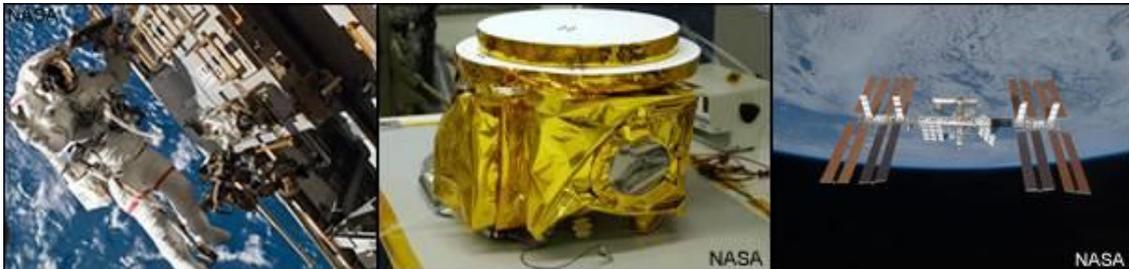


Figura 26 – Exemplos de aplicação dos MLI na indústria aeroespacial.

- *Vacuum Metalizing*

Metalização por vácuo é um processo que combina um substrato metálico com outro não metálico. O material usualmente utilizado é o alumínio por uma grande variedade de razões, tais como, custo e propriedades termodinâmicas e refletivas.

Uma superfície metalizada (ver figura 27) é ideal para isolamento térmico, principalmente porque aumenta a reflexão de radiação por parte do material (Dunmore Corporation 2012).



Figura 27 – Substratos metalizados com alumínio por vácuo

2.6.6 Tecnologias combinadas

Grado Zero Espace™

A Grado Zero desenvolveu o casaco Quota Zero, apresentado na figura 28, com o objetivo de satisfazer as necessidades dos montanhistas profissionais. A estrutura consiste num sistema multicamada, onde a camada exterior é impermeável e resistente ao vento e a camada interior é termicamente isolante.



Figura 28 – Casaco Quota Zero (Grado Zero Espace 2012)

A Grado Zero Espace™ desenvolveu três materiais diferentes com elevado isolamento térmico, recorrendo a três tecnologias distintas:

- **Quota Zero – HIGH PERFORMANCE**

Corresponde ao material desenvolvido pela empresa 3M, o Thinsulate™, que garante o conforto térmico em condições climáticas extremas, impedindo a perda de calor para o exterior e garantindo a respirabilidade do material (3M 2012) (Grado Zero Espace 2012).

- **Quota Zero – AEROGEL DESIGN SYSTEM**

Este material oferece elevado desempenho térmico e é constituído por um dos melhores isolantes térmicos conhecidos, o aerogel. A utilização deste material permite garantir o conforto térmico do

utilizador assim como a respirabilidade e leveza da peça final (Aspen Aerogels 2012) (Grado Zero Espace 2012).

Pela realização de estudos termográficos (ver figura 29), a Grado Zero Espace™ identificou algumas zonas do corpo humano que necessitam de um maior controlo da temperatura em condições de frio extremo e atividade física e utilizou estas estruturas com aerogel para reforçar o isolamento térmico nessas zonas mais exigentes (Grado Zero Espace 2012).

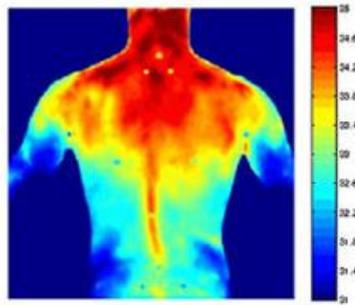


Figura 29 – Imagem termográfica (Grado Zero Espace 2012).

- **Quota Zero – BLUE AIR**

O BlueAir é um material utilizado em blusões de montanhismo low-cost, amigo do ambiente, obtido a partir dos resíduos de materiais isolantes utilizados na construção civil. É constituído por partículas de espuma de poliestireno muito pequenas designadas por “Polynsulate”. A sua estrutura porosa faz com que seja um material muito leve, impermeável, respirável, resistente à compressão e um bom isolante térmico. Tal como o aerogel (ver figura 30), a sua estrutura mesoporosa permite a passagem gradual da humidade para o exterior (Aspen Aerogels 2012).



Figura 30 – Aerogel (Aspen Aerogels 2012)

X-Bionic®

A X-Bionic é especializada no desenvolvimento de materiais e tecnologias têxteis que proporcionar o conforto térmico.

- **DURAWOOL™**

DURAWOOL™ é um material extremamente leve que combina as propriedades conhecidas das fibras *high-tech* com as qualidades da lã natural. Este material protege o corpo humano da temperatura exterior e mantém a temperatura do corpo num nível ótimo uma vez que permite a condução rápida da humidade da pele para o exterior fazendo com que esta não se acumule no interior das fibras.

- **MACROTERMES™**

Este material é baseado no desenvolvimento de texturizações inovadoras. Este processo permite a construção de diversos materiais que apesar de serem constituídos pela mesma matéria-prima (ex. poliamida) apresentam características distintas. No caso do MACROTERMES™ a texturização permitiu a formação de cavidades porosas onde, por exemplo, se poderá acumular e reter ar durante a sua produção que, potenciará a performance térmica deste material. Nestas cavidades é criado um efeito de capilaridade que funciona como suporte ao transporte da humidade tornando o material respirável.

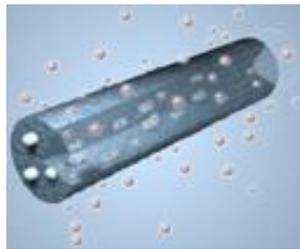


Figura 31 – Macrotermes (X-Bionic 2010)

- **NANO CORE™**

Este material é constituído por microfibras ocas com ar no seu interior o que faz com que este material apresente propriedades de isolamento térmico semelhantes às de uma janela dupla. Esta característica permite ainda que este material tenha um bom desempenho térmico tanto em condições de frio como em condições de calor.

- **XITANIT™**

Este material da X-Bionic® caracteriza-se por refletir o calor transferido por radiação de volta para a sua origem. Como tal, apresenta boas propriedades de isolamento térmico. O XITANIT™ é ainda antibacteriano, devido aos iões de prata que fazem parte da sua constituição. Tais características unidas à sua estrutura respirável favorecem o conforto do utilizador (X-Bionic 2010).

3.1 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

A metodologia de investigação divide-se nas seguintes fases:

Fase 1 - Identificação das necessidades do público-alvo

Nesta fase foi efetuado o levantamento e identificação das necessidades de montanhistas, de acordo com os seguintes critérios:

- Definição da amostra: 4 montanhistas profissionais;
- Elaboração de um questionário “Questionário de Avaliação de Necessidades dos Montanhistas” constante no Anexo . Este questionário teve como objetivo a recolha da opinião dos praticantes da modalidade relativamente à importância e valorização de diferentes parâmetros para identificação das necessidades dos mesmos.
- O questionário foi constituído por perguntas abertas e fechadas:
 - Nas perguntas abertas solicitou-se a opinião dos montanhistas em diferentes situações (perguntas 1 a 4 do questionário constante no anexo I).
 - Nas perguntas fechadas foram previstos dois tipos de questões: o primeiro tipo tinha como objetivo identificar, não só possíveis situações que ocorrem durante a prática de montanhismo, como também, a frequência das mesmas (pergunta 5 e 6 do questionário constante no Anexo I).
 - No segundo tipo identificaram-se possíveis parâmetros que influenciam a compra de um blusão de montanhismo assim como, a importância de cada um deles no ato da compra. Para isso foi definida uma escala de classificação de 1 a 5, sendo que 1 representa a categoria "muito pouco importante", 2 "pouco importante" 3 “médio importante”, 4 “importante” e 5 “muito importante (pergunta 7 do questionário constante no Anexo I).
- Aplicação do questionário: foi entregue o questionário aos 4 montanhistas para o seu preenchimento.
- Tratamento da Informação: o tratamento dos resultados foi efetuado utilizando o programa informático Excel.
- Para o tratamento estatístico das perguntas fechadas foi efetuada uma análise descritiva baseada na média e desvio-padrão.

Fase 2 – Identificação de requisitos técnicos do blusão a desenvolver

Nesta fase foram identificados os requisitos técnicos do blusão a desenvolver tendo como base os requisitos dos utilizadores e o estado da arte, de modo a satisfazer as necessidades identificadas no ponto anterior.

Fase 3 - Desenvolvimento do blusão de elevado isolamento térmico

Esta fase teve como objetivo desenvolver um blusão para condições extremas de frio (20°C negativos) com melhores propriedades de isolamento térmico relativamente aos existentes no mercado, garantindo o cumprimento dos requisitos identificados no ponto anterior. Pretendeu-se assim maximizar o isolamento térmico minimizando a espessura e o peso dos materiais habitualmente usados.

Para o desenvolvimento do blusão com elevado isolamento térmico foram selecionadas estruturas têxteis com características de elevado isolamento térmico por incorporação de materiais com baixas condutividades térmicas - materiais de elevado isolamento térmico nanoporosos (aerogel) e materiais metalizados com alumínio.

A utilização de estruturas têxteis com incorporação do referido material isolante nanoporoso permite a redução da condução de calor, mantendo o calor produzido pelo corpo humano dentro do blusão.

Os materiais metalizados (revestidos com alumínio) funcionam como barreira radiante devido às suas propriedades refletivas do calor corporal.

Na seleção dos materiais isolantes para o desenvolvimento do blusão foi tido em consideração a espessura dos mesmos pois não poderia ser demasiado baixa, dado que a resistência térmica de um material é diretamente proporcional à sua espessura.

Tal como foi mencionado no capítulo II – Pesquisa bibliográfica no ponto 2.3 – Vestuário para ambientes frios, conhecendo-se a espessura (L) e condutividade térmica (k) de um material têxtil, é possível calcular a sua resistência térmica. Foram calculados valores de resistência térmica do ar e do aerogel para diferentes espessuras de acordo com a fórmula (1) e se apresentam na tabela 1. A condutividade térmica do ar a 27°C considerada foi de 0,026 W/m.K (Física net 2013) e do aerogel 0.02 W/m.K (Dorchech e Abbasi 2008). Pela análise da referida tabela, os materiais com espessura demasiado baixa não apresentam boas propriedades de isolamento térmico.

O ar e o aerogel são os materiais com melhores propriedades de isolamento térmico conhecidos, no entanto, para valores de espessura baixos os valores de resistência térmica são igualmente baixos.

Espessura (mm)	RcT_ar ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	RcT_aerogel ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)
1	0,004	0,005
10	0,038	0,05
50	0,192	0,25
100	0,385	0,5

Tabela 1 – Valores de resistência determinados a partir da condutividade térmica dos materiais para diferentes espessuras (de acordo com a fórmula resistência térmica (1)).

Na tabela 2 apresentam-se características de materiais com elevado isolamento térmico que constituem blusões para utilização em condições extremas de frio, nomeadamente os valores de resistência térmica, massa por unidade de área (peso/ m^2) e espessura.

Descrição	Resistência térmica ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	Espessura (mm)	Peso/ m^2
Thermolite® (Coldfit)	0,61	42,01	300
Aerogel padding Grado Zero (Nice Jacket)	0,11	2,75	240
Aerogel Blanket (Aspen)	0,137	1,6	215

Tabela 2 – Principais características dos casacos com elevado isolamento térmico desenvolvidos com o objetivo de cumprirem os requisitos dos montanhistas (CITEVE 2010).

Como se pode verificar pela análise da tabela 2 e como se referiu anteriormente, os materiais que apresentam melhores propriedades de isolamento térmico são os materiais mais espessos. No âmbito desta investigação realizou-se trabalho no sentido de desenvolver um blusão constituído por materiais com propriedades de isolamento térmico próximas às do Thermolite, mas com menos espessura.

Os aerogéis correspondem aos materiais mais leves e menos densos do mundo e são considerados os materiais com o maior isolamento térmico conhecido devido à sua estrutura nanoporosa.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS PARA A CONSTRUÇÃO DO BLUSÃO

Pelo levantamento do estado da arte verifica-se que as penas de ganso e os não-tecidos em fibras sintéticas como por exemplo poliéster fibra oca e microfibras são os materiais normalmente mais utilizados para o desenvolvimento de blusões com elevado isolamento térmico para condições

extremas de frio. Antes da seleção dos materiais a usar no desenvolvimento do protótipo do blusão, foi realizada uma caracterização de substratos têxteis ao nível da sua capacidade de isolamento térmico, massa por unidade de área (peso/m²) e espessura.

A caracterização recaiu essencialmente em não-tecidos 100% poliéster fibra oca e microfibras com e sem incorporação de aerogel e materiais metalizados. Não se optou por estudar o sistema de isolamento térmico através de penas devido a alguns dos seus inconvenientes, nomeadamente pelo fato de durante a sua utilização poderem molhar-se e conseqüentemente ficarem pesadas, terem dificuldade em recuperarem a forma e poderem apodrecer, por outro lado terem um custo elevado.

3.3 CONSTRUÇÃO DO 1º PROTÓTIPO DO BLUSÃO

O primeiro protótipo foi desenvolvido com uma estrutura multicamada constituída pelos seguintes materiais:

Camadas	Material
1º camada	Tecido rip stop 100% poliamida, 70g/m ² , impermeável com revestimento de poliuretano -Lemar
2º camada	Não tecido 100% poliéster Primaloft One (100g) - Albani International Corporation + Aerogel - Aspen
3º camada	Tecido rip stop 100% poliamida, 70g/m ² , impermeável com revestimento de poliuretano -Lemar

Tabela 3 – Estrutura multicamada 1º protótipo do blusão

O blusão foi construído a partir de componentes constituídos pela estrutura multicamada identificada na tabela 3, na qual foram realizados canais na horizontal para posterior incorporação de aerogel. A existência de canais teve como objetivo preservar o aerogel no interior do blusão em toda a sua área, impedindo que este descesse por gravidade. O processo de costura usado foi a costura não-convencional, por ultrassons, para evitar a picagem do material habitualmente provocada pela costura convencional, evitando-se deste modo fugas do aerogel e de calor produzido pelo corpo para o exterior.

Estruturas têxteis de elevado isolamento térmico para condições extremas de frio.

Para proporcionar um melhor acabamento do blusão, realizaram-se costuras convencionais de ponto preso recoberto com fita por termocolagem nas laterais.

A construção do 1º protótipo do blusão implicou um conjunto de fases de desenvolvimento técnico que se apresentam de seguida:

1º Fase: Construção dos componentes para a introdução do aerogel

Nesta fase os materiais identificados na tabela 3 foram colocados em camadas seguindo-se a ordem apresentada na mesma tabela, tendo sido posteriormente unidos de forma a produzir canais que se posicionarão na horizontal na fase de construção do blusão. Esta união foi realizada através da tecnologia de ultrassons (ver figuras 32 a 34).



Figura 32 - Construção de componentes do blusão por tecnologia de união ultrassons



Figura 33 - Construção de componentes do blusão por tecnologia ultrassons



Figura 34 - Componentes do blusão construídos com canais na horizontal

2º Fase: Pré-montagem do blusão

A pré-montagem consistiu no posicionamento dos componentes cortados, de acordo com figura 35. Nesta fase o blusão não foi unido nas zonas laterais, dado que se pretendia a introdução de aerogel nesses mesmos canais.



Figura 35 - Pré-montagem do blusão para incorporação do aerogel

3º Fase: Introdução do aerogel nos componentes construídos

Foi introduzido uniformemente aerogel nos canais dos componentes do blusão, de acordo com a figura 36, recorrendo-se a aerogel humidificado, funis para facilitar a integração homogénea do aerogel e à utilização de máscaras para proteção à inalação do aerogel. A incorporação do aerogel foi realizada numa câmara com sistema de extração.

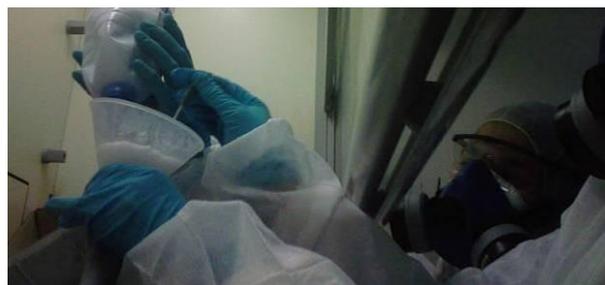


Figura 36 - Incorporação do aerogel nos canais dos componentes do blusão

4º Fase: União “lateral” do blusão

Após introdução do aerogel nos canais procedeu-se à união do mesmo nas laterais da peça através das tecnologias por ultrassons e convencionais, neste caso revestidas com fitas impermeabilizantes termocolantes. A seguir apresentam-se imagens que ilustram a operação de união do blusão (ver figuras 37 a 44) .



Figura 37 - União dos componentes do blusão por ultrassons após incorporação do aerogel



Figura 38 - União dos componentes do blusão com costuras convencionais após incorporação do aerogel



Figura 39 - União dos componentes do blusão com costuras convencionais após incorporação do aerogel



Figura 40 - União dos componentes do blusão após incorporação do aerogel



Figura 41 - União dos componentes do blusão após incorporação de aerogel



Figura 42 - Aplicação de fita termo-adesiva para acabamento do blusão após incorporação do aerogel



Figura 43 - Blusão com incorporação do aerogel



Figura 44 - Blusão com incorporação do aerogel

Após avaliação do primeiro protótipo do blusão conclui-se que este era muito pesado, pouco flexível e a sua construção implicava um processo de fabrico muito complexo e difícil de industrializar. Neste sentido optou-se por abandonar este conceito e realizar um segundo protótipo.

3.4 CONSTRUÇÃO DO 2º PROTÓTIPO DO BLUSÃO

Nesta fase optou-se por investigar a influência do aerogel e de materiais metalizados no isolamento térmico. Para isso foi desenvolvido um blusão com 2 partes – um blusão exterior e outro interior.

O blusão exterior é composto por duas camadas de tecido rip stop e o blusão interior é construído por uma estrutura multicamada com elevado isolamento térmico. O blusão interior é colocado no interior das duas camadas do blusão exterior.

Para estudar a influência do aerogel e de materiais metalizados na capacidade de isolamento térmico da estrutura multicamada, foram desenvolvidas três versões do blusão interior:

- Versão 1 – Blusão com estrutura multicamada;
- Versão 2 – Blusão com estrutura multicamada + membranas metalizadas;
- Versão 3 – Blusão com estrutura multicamada + membranas metalizada + aerogel.

O blusão exterior (ver figura 45) é igual para as três versões do blusão interior e tem a seguinte constituição:

Material	
Face exterior (direito e avesso)	Tecido rip stop 100% poliamida, 70g/m ² , impermeável com revestimento de poliuretano - Lemar

Tabela 4 – Estrutura exterior do 2º protótipo do blusão



Figura 45 – Blusão exterior duas camadas

As três versões do blusão interior foram desenvolvidas de acordo com o seguinte procedimento:

Versão 1 : Blusão com estrutura multicamada

Este protótipo foi construído com uma estrutura multicamada com elevado isolamento térmico. Os materiais que o compõem apresentam-se de seguida por ordem de aplicação:

Camadas	Material
1º camada	Não tecido compacto 100% poliéster (entretela)
2º camada	Não tecido 100% poliéster Primaloft One (100g) - Albani International Corporation
3º camada	Não tecido compacto 100% poliéster (entretela)
4º camada	Não tecido 100% poliéster Primaloft One (100g) - Albani International Corporation com entretela

Tabela 5 – Estrutura multicamada versão1

Para o desenvolvimento deste blusão foi construída uma estrutura multicamada por sobreposição dos materiais que a compõem (de acordo com a ordem indicada na tabela 5) e cortados os componentes (frente, costa e mangas) de acordo com um molde previamente definido. Posteriormente foram unidos através da tecnologia de costuras convencionais, conforme se pode visualizar pelas figuras 46 a 48 a seguir apresentadas.



Figura 46 - Componentes do blusão com estrutura multicamada



Figura 47 - Montagem de um dos componentes do blusão



Figura 48 - Blusão interior sem as mangas

Versão 2: Blusão com estrutura multicamada + membranas metalizadas

Este protótipo foi construído com uma estrutura multicamada da versão 1 à qual se acrescentou uma membrana metalizada com alumínio. Desta forma pretendeu-se estudar a influência de materiais metalizados na capacidade de isolamento térmico numa estrutura multicamada. Os materiais que o compõem apresentam-se de seguida por ordem de aplicação:

Camadas	Material
1º camada	Membrana Poliuretano (Epurex) metalizada com alumínio
2º camada	Adesivo co-poliéster em forma de rede - 8g/m ² (AB-TEC) para laminação da 1ª com 3ª camada.
3º camada	Não tecido compacto 100% poliéster (entretela)
4º camada	Não tecido 100% poliéster Primaloft One (100g) - Albani International Corporation
5º camada	Membrana Poliuretano (Epurex) metalizada com alumínio
6º camada	Adesivo Co-poliéster em forma de rede - 8g/m ² (AB-TEC) para laminação da 5ª com 7ª camada.
7º camada	Não tecido compacto 100% poliéster (entretela)
8º camada	Não tecido 100% poliéster Primaloft One (100g) - Albani International Corporation com entreteia

Tabela 6 – Estrutura multicamada versão2

Para o desenvolvimento deste blusão foi construída a estrutura multicamada por sobreposição dos materiais que a compõem de acordo com a ordem indicada na tabela 6. As figuras 49 a 55 demonstram os materiais e a montagem dos mesmos.



Figura 49 - Adesivo co-poliéster em forma de rede - 8g/m² (AB-TEC)

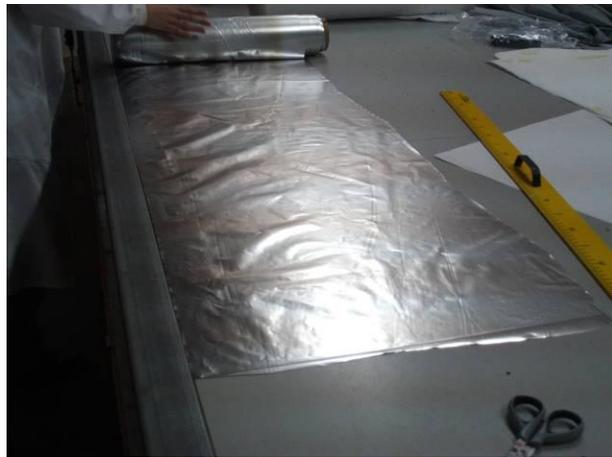


Figura 50 - Membrana metalizada com alumínio



Figura 51 - Membrana metalizada, adesivo co-Poliéster em forma de rede e não tecido compacto 100% poliéster

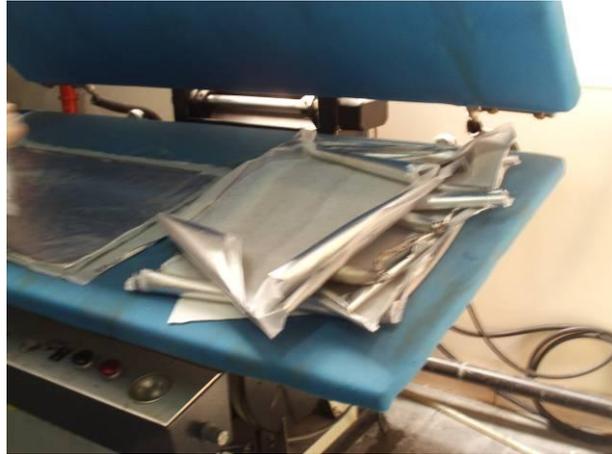


Figura 52 – Laminagem da membrana metalizada com não-tecido compacto através de um adesivo copoliéster em forma de rede - 8g/m² (AB-TEC)



Figura 53 – Laminagem da membrana metalizada com não-tecido compacto através de um adesivo copoliéster em forma de rede - 8g/m² (AB-TEC)



Figura 54 – Membrana metalizada laminada com não-tecido compacto

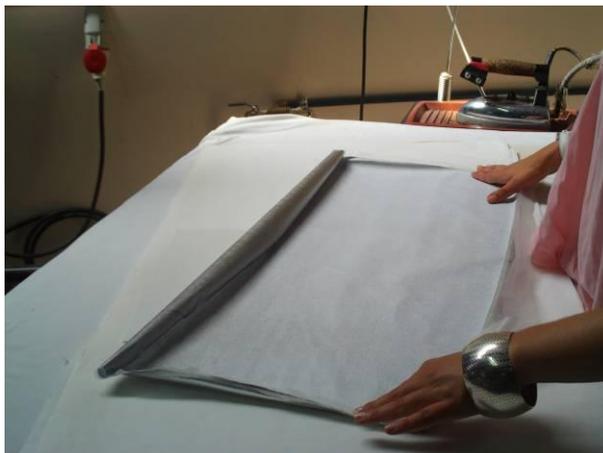


Figura 55 – Membrana metalizada laminada com não-tecido compacto (avesso técnico)

Após a montagem da estrutura multicamada procedeu-se à ao desenvolvimento dos vários componentes que foram cortados de acordo com um molde definido, em que a ordem dos materiais foi de acordo com a tabela 6. Posteriormente procedeu-se à união das costuras através da tecnologia de convencional, conforme se pode visualizar pelas figuras 56, 57, 58 e 59 a seguir apresentadas.



Figura 56 – Costuras convencionais na membrana metalizada (laminada com não-tecido compacto)



Figura 57 – União por tecnologia convencional da estrutura multicamada



Figura 58 – União por tecnologia convencional da estrutura multicamada



Figura 59 – União por tecnologia convencional da estrutura multicamada

Versão 3: Blusão com estrutura multicamada + membranas metalizadas + aerogel

Este protótipo foi construído com uma estrutura multicamada da versão 2 à qual se acrescentou aerogel. Desta forma pretendeu-se estudar a influência do aerogel na capacidade de isolamento térmico numa estrutura multicamada. Os materiais que o compõem apresentam-se de seguida por ordem de aplicação:

Camadas	Material
1º camada	Membrana Poliuretano (Epurex) metalizada
2º camada	Adesivo Co-poliéster em forma de rede - 8g/m ² (AB-TEC) para laminação da 1ª com 3ª camada.
3º camada	Não tecido compacto 100% poliéster (entretela) revestido com aerogel
4º camada	Não tecido 100% poliéster Primaloft One (100g) - Albani International Corporation
5º camada	Membrana Poliuretano (Epurex) metalizada
6º camada	Adesivo Co-poliéster em forma de rede - 8g/m ² (AB-TEC) para laminação da 5ª com 7ª camada.
7º camada	Não tecido compacto 100% poliéster (entretela) revestido com <i>aerogel</i>
8º camada	Não tecido 100% poliéster Primaloft One (100g) - Albani International Corporation
9º camada	Não tecido compacto 100% poliéster (entretela)

Tabela 7 – Estrutura multicamada versão 3

Na construção deste protótipo utilizaram-se os mesmos materiais da segunda versão à qual se acrescentou aerogel, por revestimento do não tecido compacto (ver figura 60).



Figura 60 - Revestimento do não tecido compacto (3ª e 7ª camada) com aerogel

Para cada uma das versões do blusão interior foi construído um blusão exterior. As três versões de blusão interior foram colocados no interior do blusão exterior, tal como se pode observar pelas figuras 61 a 63 a seguir apresentadas.



Figura 61 - Montagem do blusão (camada exterior mais interior)



Figura 62 - Montagem do blusão



Figura 63 - Montagem do blusão

As figuras 64 a 65 demonstram o blusão final com a integração da estrutura multicamada.



Figura 64 – Blusão com integração de estrutura multicamada (enchimento)



Figura 65 - Blusão Final

3.5 MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO

A seguir apresenta-se uma breve descrição dos métodos e normas de caracterização usadas neste trabalho de investigação.

- **Determinação da massa por unidade de área (g/m²)** - Método de ensaio para não-tecidos
Norma: ISO 9073-1:1989
Princípio: Medir a área e a massa de uma amostra e calcular a sua massa por unidade de área em gramas por metro quadrado.
- **Determinação da massa por unidade de superfície em amostras de pequena dimensão (g/m²)** - Método de ensaio para têxteis tecidos
Norma: NP EN 12127:1999
Massa por unidade de superfície: massa de uma área de tecido conhecida dividida por essa mesma área, expressa em gramas por metro quadrado.
- **Determinação da espessura** - Método de ensaio para não-tecidos
Norma: NP EN ISO 9073-2:2002
Princípio: Medição da espessura de um não-tecido como a distância entre uma placa de referência sobre a qual está o não tecido e um calcador paralelo à base, o qual exerce uma pressão específica na área submetida a ensaio. O resultado da espessura é expresso em milímetros.
- ***Textiles – Physiological effects – Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hotplate test)***
Norma: ISO 11092:1993
Objetivo: Especificação do método para medição da resistência térmica e resistência ao vapor de água, em estado estacionário, de por exemplo tecidos, filmes, revestimentos, espumas e peles, incluindo materiais multicamada, para vestuário, coberturas, sacos cama, estofos.
A resistência térmica (R_{cl}): diferença de temperatura entre as duas faces de um material dividido pelo fluxo de calor resultante por unidade de área, na direção do gradiente. O fluxo de calor seco pode consistir num ou mais componentes condutivo, convectivo e radiante. É

expressada em metros quadrados kelvin por watt, é uma quantidade específica de material têxtil ou composto, que determina o fluxo de calor seco através de uma dada área em resposta a um gradiente de temperatura constante aplicado.

- **Vestuário para proteção contra ambientes frios**

Norma: NP EN 14058:2006

Objetivo: Requisitos e métodos de ensaio para o desempenho de peças de vestuário individuais, para proteção contra arrefecimento do corpo em ambientes frios (temperaturas de -5°C ou acima).

Grelha de classificação da resistência térmica (R_{ct}) de substratos têxteis:

R_{ct} m^2k/w	Classe
$0,06 \leq R_{ct} < 0,12$	1
$0,12 \leq R_{ct} < 0,18$	2
$0,18 \leq R_{ct} < 0,25$	3

Tabela 8 – Resistência térmica (NP EN 14058:2006)

Nota: as peças de vestuário que contém materiais com uma resistência térmica superior a $0,25 m^2KW^{-1}$ são normalmente destinadas à utilização em ambientes frios.

- **Medição do isolamento térmico através do manequim térmico – Efeitos fisiológicos**

Norma: NP EN ISO 15831:2006

Objetivo: Esta norma descreve os requisitos do manequim térmico e o procedimento de ensaio usado para medir o isolamento térmico dum conjunto de vestuário, conforme é utilizado na prática, num ambiente relativamente calmo, com o utilizador quer parado quer em movimento.

Definições:

Isolamento térmico do vestuário – Diferença de temperatura entre a superfície da pele do utilizador e a atmosfera ambiente, dividido pelo fluxo de calor seco resultante por unidade

de área, na direção de gradiente de temperatura, em que o fluxo de calor seco consiste nas componentes condutiva, convectiva e radiante.

Isolamento térmico total do vestuário (I_t) - Isolamento térmico total desde a pele até à atmosfera ambiente, incluindo o vestuário e a camada de ar adjacente, medido sob condições definidas com um manequim estático, e expressa-se em m^2KW^{-1} .

Isolamento térmico total resultante (I_{tr}) - Isolamento térmico total desde a pele até à atmosfera ambiente, incluindo o vestuário e a camada de ar adjacente, medido sob condições definidas com um manequim com pernas e braços em movimento, e expressa-se em m^2KW^{-1} .

Foi caracterizado o isolamento térmico total (I_t) das 3 versões do 2º protótipo do blusão e não foi o isolamento térmico efetivo devido ao facto de as temperaturas de medição necessárias serem muito baixas ($-20^\circ C$) e não ter sido possível a medição do isolamento da camada de ar adjacente com o manequim estático (I_a) e conseqüentemente o isolamento térmico efetivo do blusão com o manequim estático (I_{cle}).

- ***Ergonomics of the thermal environment – Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects***

Norma: ISO 11079:2007

Objetivo: Avaliação do *stress* térmico associado à exposição em ambientes frios. IREQ (Isolamento térmico requerido) – Isolamento do vestuário requerido para preservar o equilíbrio térmico do corpo a níveis definidos de esforço fisiológico.

A norma refere que a atividade respiratória é baixa em condições ambientais a temperaturas a $20^\circ C$ negativos. Classifica o índice metabólico por atividade, e para a prática de montanhismo em condições de frio moderadamente agressivas é considerado um índice metabólico baixo ($100 Wm^{-2}$). O IREQ pode ser expresso em unidades clo ($1clo=0,155 m^2KW^{-1}$).

Para a simulação da utilização da versão 2 do 2º protótipo do blusão em ambientes frios moderadamente agressivos ($-20^\circ C$), foi determinado o isolamento térmico requerido (IREQ) e a duração máxima de exposição (DLE), de acordo com a norma ISO 11079:2007.

O clo do blusão foi calculado de acordo com seguinte função: $clo = 0,155 m^2KW^{-1}$

$(I_t \text{ da } 2^a \text{ versão do blusão} / 0,155) = 0,83 m^2KW^{-1} / 0,155 m^2KW^{-1} = 5.4 \text{ clo.}$

Realizaram-se várias simulações de acordo com os seguintes pressupostos para condições climatéricas moderadamente agressivas:

Pressupostos N°1:

- Energia metabólica produzida: 100 W/m² (corresponde a um baixo índice metabólico - valor referência para este tipo de ambiente).
- Temperatura ambiente do ar: 20°C negativos (requisito do blusão e temperatura negativa mais baixa possível no manequim térmico)
- Temperatura radiante: 20°C negativos (requisito do blusão e temperatura negativa mais baixa possível no manequim térmico)
- Permeabilidade ao ar: 0,1 l/m²s (muito baixa permeabilidade ao ar)
- Velocidade de andamento: 0,3 m/s (valor típico para a pratica montanhismo)
- Velocidade relativa do ar: 10m/s (valor típico na montanha)
- Humidade relativa: 50% (valor definido pela norma ISO 11079:2007)
- Icl: 5,4 clo

Pressupostos N°2:

- Energia metabólica produzida: 100 W/m² (corresponde a um baixo índice metabólico - valor referência para este tipo de ambiente).
- Temperatura ambiente do ar: 20°C negativos (requisito do blusão e temperatura negativa mais baixa possível no manequim térmico)
- Temperatura radiante: 20°C negativos (requisito do blusão e temperatura negativa mais baixa possível no manequim térmico)
- Permeabilidade ao ar: 0,1 l/m²s (muito baixa permeabilidade ao ar)
- Velocidade de andamento: 0,3 m/s (valor típico para a pratica montanhismo)
- Velocidade relativa do ar: 0,4 m/s (valor típico na montanha)
- Humidade relativa: 50% (valor definido pela norma ISO 11079:2007)
- Icl: 5,4 clo

O cálculo do IREQ e do DLE foi realizado de acordo com o programa informático, disponível na respetiva norma.

http://wwwold.eat.lth.se/Forskning/Termisk/Termisk_HP/Klimatfiler/IREQ2002alfa.htm.

- ***Measuring the Evaporative Resistance of Clothing Using a Sweating Manikin***

Norma: ASTM: F2370:2010

Objetivo: Determinação da resistência evaporativa de conjuntos de vestuário. Descreve o método de medição da resistência para evaporar o calor transferido do manequim térmico aquecido para um ambiente relativamente calmo. Expressa-se em $\text{KPa}\cdot\text{m}^2\text{W}^{-1}$.

CAPITULO IV - RESULTADOS E ANÁLISE DA INVESTIGAÇÃO

4.1 NECESSIDADES DO PÚBLICO-ALVO

Os resultados obtidos no tratamento dos questionários realizados aos profissionais de montanhismo apresentam-se no ponto 4.1.1.

4.1.1 Resultados do questionário "Avaliação de Necessidades dos Montanhistas" – Identificação de requisitos do utilizador

Os resultados apresentados nas questões abertas 1, 2, 3 e 4 referem-se ao conjunto de respostas dadas pelos quatro montanhistas, tendo sido transcritas e reproduzidas na íntegra conforme texto apresentado de seguida.

1. O que associa a "conforto" quando pensa num blusão para montanhismo?

- Associa a conforto à liberdade de movimentos sem que se note o peso e que não retenha a transpiração produzida.
- Ter o máximo de liberdade de movimentos, numa peça bem concebida anatomicamente (tem de se ajustar o mais possível ao corpo).
- Ser leve, boa mobilidade, bom isolamento térmico, boa impermeabilidade e respirabilidade.
- Impermeabilidade, detalhes de acabamento, aquecimento.

2. O que associa a "desconforto" quando pensa num blusão para montanhismo?

- Associa ao inverso da resposta anterior.
- Falta de liberdade de movimentos e corte desadequado ao corpo.
- O contrário da resposta anterior.
- Pesado, feio, pouco "técnico" ou seja, concebido por alguém que não pratica o desporto para o qual servirá esse blusão.

3. O que associa a "segurança" quando pensa num blusão para montanhismo?

- Quando ele já foi testado e aprovado.
- Peça que mantenha a sua integridade do início ao fim da atividade. Tem de primar pela robustez.

Estruturas têxteis de elevado isolamento térmico para condições extremas de frio.

- Resistência dos materiais, bom isolamento térmico, impermeabilidade e respirabilidade.
- Impermeabilidade, bons fechos de correr, cor vistosa mas não demasiado, aquecimento e arrefecimento.

4. O que associa a "insegurança/perigo" quando pensa num blusão para montanhismo?

- Associo ao inverso da resposta anterior.
- Deformação da peça, perda das suas características iniciais durante a atividade (exemplo: rasgões, tecido deformável).
- Ao contrário da resposta anterior.
- Cor branca, fechos de correr de má qualidade.

Os resultados apresentados nas questões fechadas 5, 6 e 7 referem-se ao conjunto de respostas dadas pelos quatro montanhistas, previamente tratadas estatisticamente, conforme texto e gráficos apresentado de seguida.

5. Que condições de temperatura poderá ter de suportar durante a atividade de montanhismo?

Pela análise da figura 66 constata-se que da amostra analisada (quatro montanhista), três poderão ter de suportar temperaturas entre 0°C a -10°C e entre -11 a -30°C e um -31°C a -50°C, durante a actividade de montanhismo.

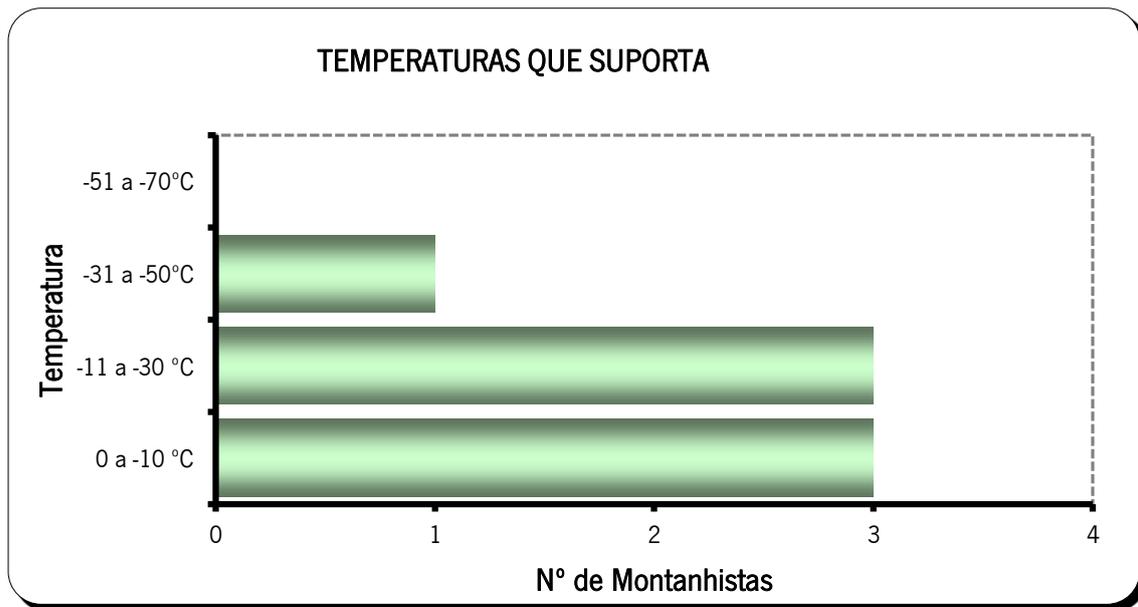


Figura 66 – Temperaturas a que o montanhista pode estar exposto

6. Em que zonas do corpo sente mais frio?

Pela análise da figura 67, quatro montanhistas indicam que as zonas do corpo onde sentem mais frio é nos pés e nas mãos e para além destas duas zonas, um deles indica que as costas e na cabeça são duas zonas onde também sentem mais frio.

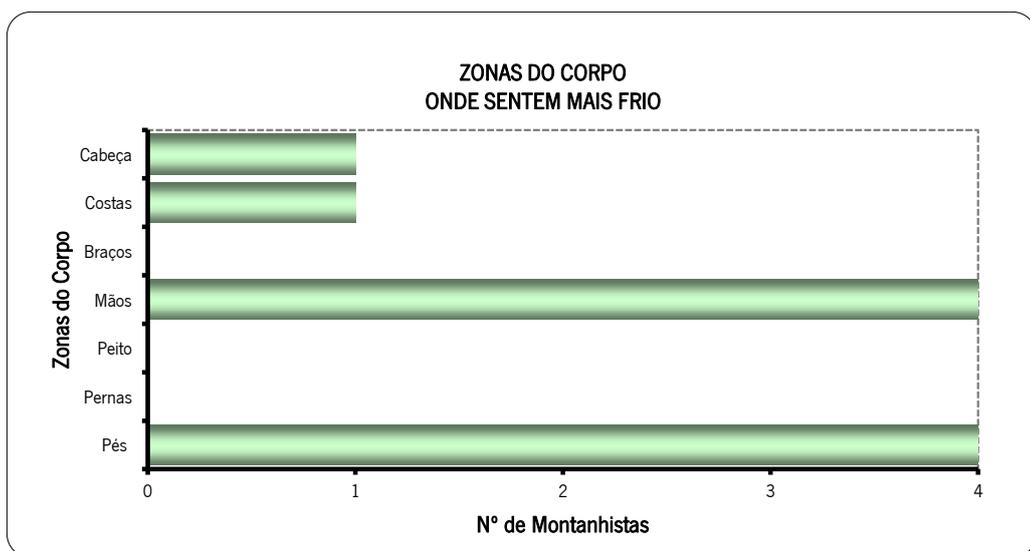


Figura 67 – Zona do corpo onde o montanhista sente mais frio

7. Como valoriza cada um dos seguintes parâmetros quando compra um blusão?

Pela a análise da figura 68, os principais parâmetros mais valorizados no ato da compra de um blusão de montanhismo para profissionais por ordem de maior importância foram:

- Facilidade de movimentos;
- Impermeabilidade;
- Conforto;
- Leveza;
- Pouco volumoso;
- Sensação de “seco”;
- Resistência dos materiais;
- Isolamento térmico;
- Respirabilidade;
- Facilidade de vestir;
- Facilidade de despir.

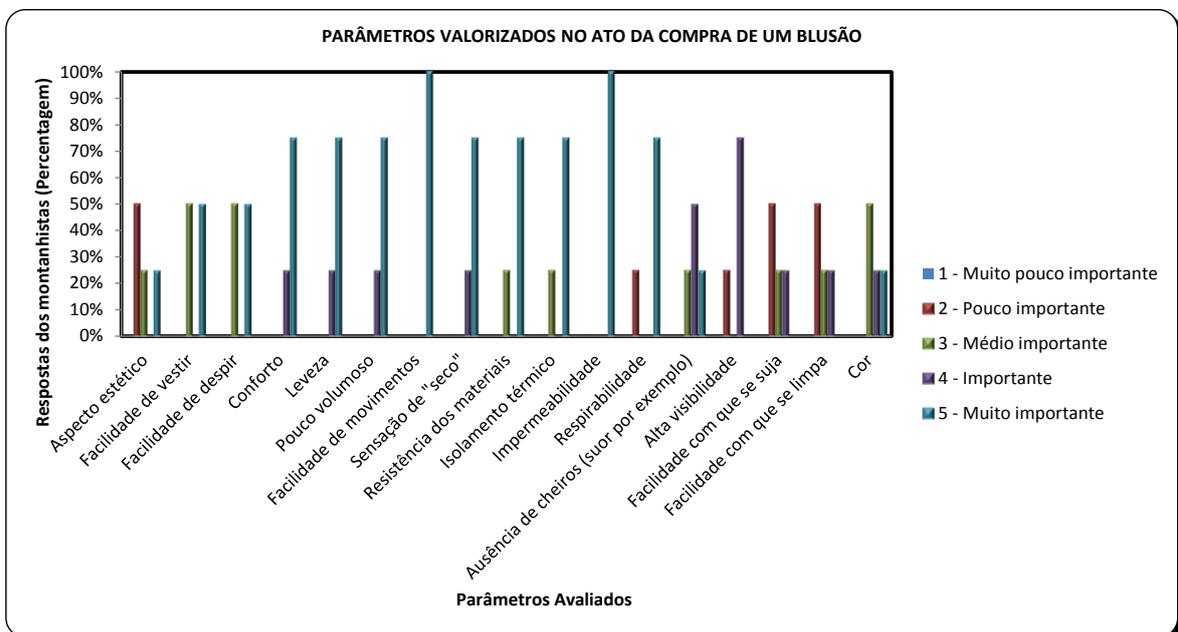


Figura 68 – Parâmetros valorizados no ato da compra de um blusão de montanhismo

4.2 CARACTERÍSTICAS DO BLUSÃO

4.2.1 Características gerais

Os requisitos técnicos do blusão de elevado isolamento térmico a desenvolver são os seguintes:



Figura 69 – Requisitos técnicos do blusão

O blusão possui um forro térmico constituído pela combinação de materiais de elevado isolamento térmico, com recurso a estruturas têxteis multicamada, das quais algumas laminadas. A estrutura tem integrado na sua matriz materiais com propriedades de elevado isolamento avançado, como aerogéis de sílica e metalizações, conforme descrito no ponto 3.3 - construção do segundo protótipo da parte experimental, do capítulo III.

A solução final possui um bom rácio entre a condutividade térmica e espessura total do material multicamada, com a menor condutividade térmica, menor espessura, menor peso e boa flexibilidade.

O número de camadas da estrutura têxtil diminui a sua respirabilidade, pelo que de modo a garantir que o blusão permita a gestão da humidade, ou seja que a transpiração saia, foram criadas aberturas no blusão nas quais se colocou um fecho. Foram colocados dois fechos frontais impermeáveis e dois laterais. Desta forma, em caso de necessidade o utilizador pode abri-los garantindo um maior conforto.

4.2.2 Croqui técnico



Figura 70 – Croqui técnico da frente do blusão



Figura 71 – Croqui técnico das costas do blusão

4.3 DESENVOLVIMENTO DO BLUSÃO DE ELEVADO ISOLAMENTO TÉRMICO

4.3.1 Caracterização de materiais para a construção do blusão

Nas tabelas 9 a 13 representam-se os resultados dos materiais caracterizados ao nível do peso por metro quadrado, espessura e resistência térmica (R_{ct}) segundo a norma: ISO 11092:1993.

Material	Composição	Fornecedor	Amostra	Caracterização
Não-tecido Termolite (Coldfit)	100% poliéster	Advansa		Peso/m ² = 300 g/m ² Espessura = 42 mm Resistência térmica = 0,610 m ² KW ⁻¹
Não-tecido Thermolite	100% poliéster	Advansa		Peso/m ² = 100 g/m ² Espessura = 2,71 mm Resistência térmica = 0,109 m ² KW ⁻¹
				Peso/m ² = 100 g/m ² Espessura = 18 mm Resistência térmica = 0,255 m ² KW ⁻¹
				Peso/m ² = 200 g/m ² Espessura = 24 mm Resistência térmica = 0,359 m ² KW ⁻¹
Não-tecido Termolite laminado	100% poliéster	Advansa		Peso/m ² = 300 g/m ² Espessura = 40 mm Resistência térmica = 0,493 m ² KW ⁻¹

Tabela 9 – Resultados da caracterização de não-tecidos 100% poliéster fibra oca

Material	Composição	Fornecedor	Amostra	Caracterização
Não-tecido	100% poliéster	Ipetex		Peso/m ² = 100 g/m ² Espessura = 1,86 mm Resistência térmica = 0,074 m ² KW ⁻¹
				Peso/m ² = 96 g/m ² Espessura = 0,79 mm Resistência térmica = 0,032 m ² KW ⁻¹

Tabela 10 – Resultados da caracterização de não-tecidos 100% poliéster

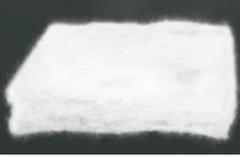
Material	Composição	Fornecedor	Amostra	Caracterização
Não-tecido PrimaLoft One	100% poliéster	Albani International Corporation		Peso/m ² = 100g/m ² Espessura = 15mm Resistência térmica = 0,3083 m ² KW ⁻¹
Não-tecido PrimaLoft One	100% poliéster	Albani International Corporation		Peso/m ² = 200g/m ² Espessura = 28mm Resistência térmica = 0,4659 m ² KW ⁻¹
Não-tecido PrimaLoft Sport 100	100% poliéster	Albani International Corporation		Peso/m ² = 100g/m ² Espessura = 19mm Resistência térmica = 0,338 m ² KW ⁻¹
Não-tecido PrimaLoft Sport 200	100% poliéster	Albani International Corporation		Peso/m ² = 200g/m ² Espessura = 38mm Resistência térmica = 0,545 m ² KW ⁻¹

Tabela 11 – Resultados da caracterização de não-tecidos 100% poliéster microfibra

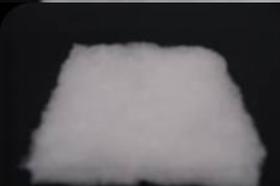
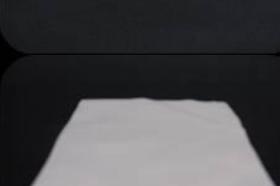
Material	Composição	Fornecedor	Amostra	Caraterísticas
Não-tecido (Activest®)	100% poliéster	Aspen Aerogels™		Peso/m ² = 240 g/m ² Espessura = 2,75 mm Resistência térmica = 0,110 m ² KW ⁻¹
Não-tecido Nanogel Blanket	100% poliéster	Cabot™		Peso/m ² = 210 g/m ² Espessura = 1,6 mm Resistência térmica = 0,137 m ² KW ⁻¹
Não-tecido Thermolite: tratado com aerogel	100% poliéster	Advansa		Peso/m ² = 100 g/m ² Espessura = 2,71 mm Resistência térmica = 0,122 m ² KW ⁻¹
				Peso/m ² = 100 g/m ² Espessura = 18 mm Resistência térmica = 0,257 m ² KW ⁻¹
				Peso/m ² = 200 g/m ² Espessura = 24 mm Resistência térmica = 0,257 m ² KW ⁻¹
Não-tecido Thermolite: tratado com aerogel	100% poliéster	Advansa		Peso/m ² = 300 g/m ² Espessura = 40 mm Resistência térmica = 0,493 m ² KW ⁻¹
Não-tecido tratado com aerogel	100% poliéster	Ipetex		Peso/m ² = 100 g/m ² Espessura = 0,173 mm Resistência térmica = 0,011 m ² KW ⁻¹

Tabela 12 – Resultados da caracterização de não-tecidos 100% poliéster tratados com aerogel

Material	Composição	Fornecedor	Amostra	Caraterísticas
Não-tecido: Thermolite® laminado com membrana metalizada	Não tecido: 100% poliéster Membrana: 100% poliuretano com metalização alumínio	Não-tecido: Advansa Membrana: Epurex		Peso/m ² = 240 g/m ² Espessura = 2,75 mm Resistência térmica = 0,110 m ² KW ⁻¹
Não-tecido: Thermolite® laminado com membrana metalizada	Não tecido: 100% poliéster Membrana: 100% Poliuretano com metalização alumínio	Não-tecido: Advansa Membrana: Epurex		Peso/m ² = 200 g/m ² Espessura = 24 mm Resistência térmica = 0,257 m ² KW ⁻¹
Não-tecido laminado com membrana metalizada	Não tecido: 100% poliéster Membrana: 100% poliuretano com metalização alumínio	Não-tecido: Ipetex Membrana: Epurex		Peso/m ² = 96 g/m ² Espessura = 0,79 mm Resistência térmica = 0,032 m ² KW ⁻¹
Não-tecido com aerogel laminado com membrana metalizada	Não tecido: 100% poliéster com aerogel Membrana: 100% poliuretano com metalização alumínio	Não-tecido: Ipetex Membrana: Epurex		Peso/m ² = 330 g/m ² Espessura = 2,44 mm Resistência térmica = 0,128 m ² KW ⁻¹

Tabela 13 – Resultados da caracterização de não-tecidos 100% poliéster laminados com membrana metalizada

Segundo a norma NP EN 14058:2006, as peças de vestuário que contém materiais com uma resistência térmica superior a 0,25 m²KW⁻¹ são normalmente destinadas à utilização em ambientes frios.

A seleção dos materiais para o desenvolvimento dos protótipos do blusão teve como base os resultados obtidos nos ensaios prévios de caracterização e os requisitos técnicos definidos. Como se pode observar através das tabelas anteriormente apresentadas, os materiais com menor espessura não apresentam boas propriedades de isolamento térmico.

O não tecido selecionado para o desenvolvimento do blusão foi o PrimaLoft One 100g/m², dado ter apresentado um valor de resistência térmica superior ao valor definido na norma NP EN 14058:2006 e aliada a esta propriedade ter apresentado um bom compromisso entre seu peso/m² e espessura que respondem aos requisitos técnicos.

4.3.2 Construção do 1º protótipo do blusão

4.3.2.1 1º Protótipo do blusão

O 1º protótipo do blusão desenvolvido apresenta-se na figura 72. Este é constituído por uma estrutura multicamada com canais nos quais foi introduzido aerogel.



Figura 72 – 1º Protótipo do blusão com incorporação do aerogel

4.3.2.2 Resultados de caracterização

Foi efetuada a caracterização do 1º protótipo do blusão, ao nível da espessura, peso/m², resistência térmica (R_{et}), isolamento térmico (I_t) e clo, de acordo com as normas definidas no capítulo III – Parte experimental, no ponto 3.4 – Métodos de caracterização. O isolamento térmico (I_t) do blusão foi medido em maquim térmico (ver figura 73) em estado estático a 20°C negativos (temperatura mais baixa possível de testar no manequim térmico). Os resultados apresentam-se de seguida na tabela 14.

Espessura (mm)	Peso/m ²	R_{et}	I_t (m ² KW ⁻¹)	clo
		(m ² KW ⁻¹) Estrutura têxtil	Blusão	Blusão
11	750	0.430	0,588	3,8

Tabela 14 - Resultados de caracterização do 1º protótipo

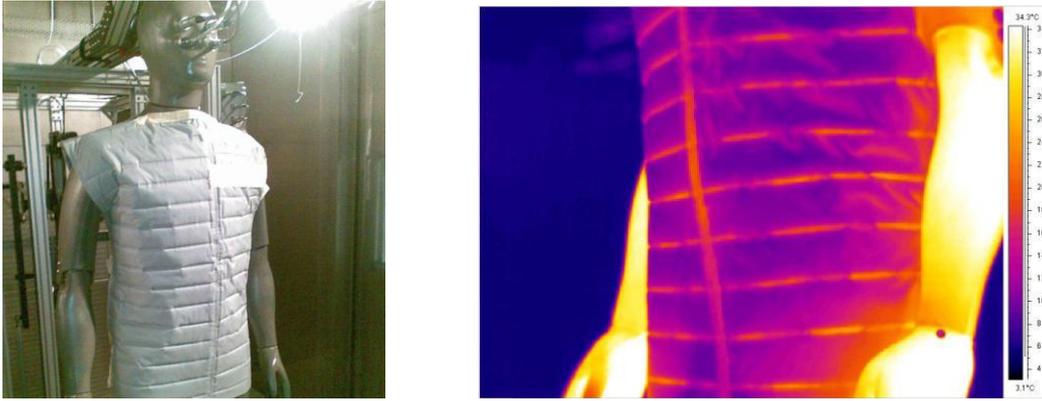


Figura 73 - Avaliação do isolamento térmico do 1º protótipo efetuada em manequim térmico com base na norma NP EN ISO 15831:2006

Esta abordagem foi abandonada devido ao facto de o blusão apresentar um valor de isolamento térmico baixo e em simultâneo devido aos constrangimentos identificados durante a investigação, nomeadamente:

- processo de construção ser bastante moroso e complexo;
- elevada perda de calor pelas uniões;
- muito baixa compressibilidade e flexibilidade dos materiais.

4.3.3 Construção do 2º protótipo do blusão

4.3.3.1 2º Protótipo do blusão (versões 1, 2 e 3)

Construíram-se 3 versões do blusão (ver figura 74) para avaliar o efeito da inclusão de duas tecnologias distintas nomeadamente: materiais metalizados e materiais nanoporosos. Assim, a versão 1 é constituído pela estrutura base sem metalização nem materiais nanoporosos, a versão 2 incorpora materiais metalizados e a versão 3 incorpora materiais metalizados e materiais nanoporosos.



Figura 74 – 2º protótipo do blusão de elevado isolamento térmico

4.3.3.2 Resultados de caracterização

Foi efetuada a caracterização das 3 versões do 2º protótipo do blusão, ao nível da espessura, peso/m², isolamento térmico (I) e clo, de acordo com as normas definidas no capítulo III – Parte experimental, no ponto 3.4 – Métodos de caracterização. O isolamento térmico I dos blusões foi medido em maquim térmico (ver figura 75) em estado estático a 20°C negativos (temperatura mais baixa possível de testar no manequim térmico). Os resultados apresentam-se de seguida na tabela 15.

2º Protótipo (versões)	Espessura (mm)	Peso/m ²	I (m ² KW ⁻¹)	clo
Versão 1	30	1068	0,73	4,7
Versão 2	30	1068	0,83	5,4
Versão 3	30	1100	0,86	5,5

Tabela 15 - Resultados de caracterização do 2º protótipo

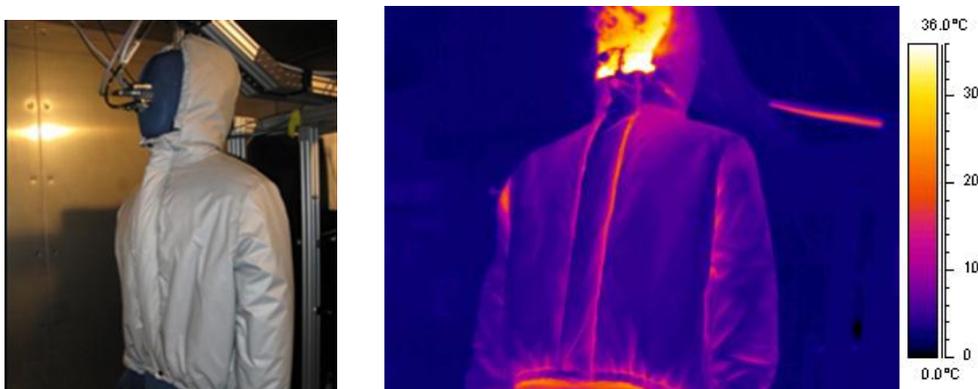


Figura 75 - Avaliação do isolamento térmico do 2º protótipo (versões 1, 2 e 3) efetuado em manequim térmico com base na norma NP EN ISO 15831:2006

4.3.4 Blusão de penas estado da arte



Figura 76 - Parka Marmot 8000M

4.3.4.1 Resultados de caracterização

Foi efetuada a caracterização de um blusão do estado da arte (ver figura 76) adequado para montanhismo em condições ambientais de frio moderadamente agressivas, ao nível da espessura, peso/m², isolamento térmico (I_t) e clo, de acordo com as normas definidas no capítulo III – Parte experimental, no ponto 3.4 – Métodos de caracterização. O isolamento térmico I_t do blusão do estado da arte foi medido em maqum térmico em estado estático

Os resultados apresentam-se de seguida na tabela 16.

Estado da arte	Espessura (mm)	Peso/m ²	I_t (m ² KW ⁻¹)	clo
Blusão de Penas Marmot	130	1389	1,4	9

Tabela 16 - Resultados de caracterização blusão estado arte

4.3.5 Isolamento térmico total das 3 versões do 2º protótipo do blusão e de um blusão do estado da arte

Na tabela 17 comparam-se os valores obtidos de isolamento térmico total das 3 versões do 2º protótipo do blusão e ainda de um blusão do estado da arte.

Blusão	I_t (m^2KW^{-1})	
Versão 1: Blusão com estrutura multicamada	0,73	+14%
Versão 2: Blusão com estrutura multicamada + membranas metalizadas	0,83	
Versão 3: Blusão com estrutura multicamada + membranas metalizadas + aerogel	0,86	+4%
Estado da arte: Blusão de penas Marmot	1,4	+ Espessura

Tabela 17 - Isolamento térmico total das 3 versões do blusão e de um blusão do estado da arte

A versão 2 do 2º protótipo do blusão (com integração de membrana metalizada) apresentou um maior incremento ao nível de isolamento térmico (I_t), comparativamente com as versões 1 e 3.

Face a estes resultados, optou-se por continuar a investigar a versão 2 do 2º protótipo do blusão, devido a este apresentar um bom compromisso entre o valor de resistência térmica e o custo/facilidade de produção do mesmo. As outras duas versões do blusão foram abandonadas.

4.3.6 Resistência evaporativa em câmara climática da versão 2 do 2º protótipo do blusão

A resistência evaporativa da 2ª versão do 2º protótipo do blusão foi medida num manequim térmico, tendo sido obtidos valores superiores a $40 m^2.Pa.W^{-1}$.

Apesar dos valores obtidos serem elevados, é importante ter em conta que a norma “EN343 - Vestuário de proteção contra chuva” refere que o tempo máximo de utilização de peças de vestuário cresce à medida que diminui a temperatura ambiente. De acordo com a norma referida, uma peça de vestuário de proteção contra a chuva, com resistência evaporativa superior a $40 m^2.Pa.W^{-1}$, pode ser usada até 240 minutos num ambiente com temperatura de $10^\circ C$, conforme se pode observar na figura 18. A mesma norma já não indica qualquer limite quando o ambiente tem uma

temperatura de 5°C. Tendo em conta que num cenário montanhoso é muito provável que as temperaturas ambientes sejam bastante mais baixas que as referidas anteriormente, é razoável considerar que a respirabilidade não será um fator determinante no desempenho térmico de um produto de alpinismo usado nessas condições (ambientes frios).

Temperatura do ambiente de trabalho, °C	Classe		
	1 R _{et} maior que 40 min	2 20 < R _{et} ≤ 40 min	3 R _{et} ≤ 20 min
25	60	105	205
20	75	250	-
15	100	-	-
10	240	-	-
5	-	-	-

“-“ significa: não há limite para o tempo de uso.

Tabela 18 - Tempo de utilização de peças de vestuário em função do tempo de trabalho e valores de R_{et}

4.3.7 Determinação do Isolamento térmico requerido (IREQ) e da duração limite de exposição (DLE) da versão 2 do 2º protótipo do blusão

Para simular a utilização da versão 2 do 2º protótipo do blusão em ambientes frios moderadamente agressivos (-20°C), foi determinado o isolamento térmico requerido (IREQ), o isolamento básico vestuário (Icl) (ISO 9920e a duração limite de exposição (DLE), de acordo com a norma ISO 11079:2007.

Nas figuras 77 e 78 apresentam-se os resultados obtidos de acordo com os pressupostos descritos no capítulo III – parte experimental no ponto 3.4 - Métodos de caracterização.

Pressuposto 1:

JAVA applet for ISO 11079

**CALCULATION OF REQUIRED CLOTHING INSULATION (IREQ),
DURATION LIMITED EXPOSURE (Dlim),
REQUIRED RECOVERY TIME (RT),
and Wind Chill Temperature (twc)**

IREQ 2007 **ver 4.1**, Hakan O. Nilsson and Ingvar Holmer.
BOOKMARK THIS PAGE in order to ALWAYS use the LATEST VERSION of the code.

Disclaimer and references at the end of the document.

**CALCULATION OF REQUIRED INSULATION, IREQ AND
DURATION LIMITED EXPOSURE, DLE**

100	M (W/m ²), Metabolic energy production (58 to 290 W/m ²)
0	W (W/m ²), Rate of mechanical work, (normally 0)
-20	Ta (C), Ambient air temperature (< +10 C)
-20	Tr (C), Mean radiant temperature (often close to ambient air temperature)
0.1	p (l/m ² s), Air permeability (low < 5, medium 50, high > 100 l/m ² s)
0.3	w (m/s), Walking speed (or calculated work created air movements)
10	v (m/s), Relative air velocity (0.4 to 18 m/s)
50	rh (%), Relative humidity
5.4	Icl (clo), AVAILABLE basic clothing insulation (1 clo = 0.155 W/m ² K)

} Moderadamente agressivo

IREQ & Dlim RESULTS (minimal to neutral)

Insulation Required, IREQ to (clo)

REQUIRED basic clothing insulation (ISO 9920), Icl to (clo)

Duration limited exposure, DLE to (hours)

Figura 77 - Cálculos obtido através da norma normas ISO 11079:2007, de acordo com o pressuposto 1.

Pressuposto 2:

JAVA applet for ISO 11079

**CALCULATION OF REQUIRED CLOTHING INSULATION (IREQ),
DURATION LIMITED EXPOSURE (Dlim),
REQUIRED RECOVERY TIME (RT),
and Wind Chill Temperature (twc)**

IREQ 2007 **ver 4.1**, Hakan O. Nilsson and Ingvar Holmer.
BOOKMARK THIS PAGE in order to ALWAYS use the LATEST VERSION of the code.

Disclaimer and references at the end of the document.

CALCULATION OF REQUIRED INSULATION, IREQ AND DURATION LIMITED EXPOSURE, DLE

100	M (W/m ²), Metabolic energy production (58 to 290 W/m ²)
0	W (W/m ²), Rate of mechanical work. (normally 0)
-20	Ta (C), Ambient air temperature (< +10 C)
-20	Tr (C), Mean radiant temperature (often close to ambient air temperature)
0.1	p (l/m ² s), Air permeability (low < 5, medium 50, high > 100 l/m ² s)
0.3	w (m/s), Walking speed (or calculated work created air movements)
0.4	v (m/s), Relative air velocity (0.4 to 18 m/s)
50	rh (%), Relative humidity
5.4	Icl (clo), AVAILABLE basic clothing insulation (1 clo = 0.155 W/m ² K)

Calculate IREQ Interpret IREQ

IREQ & Dlim RESULTS (minimal to neutral)

Insulation Required, IREQ to (clo)

REQUIRED basic clothing insulation (ISO 9920), Icl to (clo)

Duration limited exposure, DLE to (hours)

AVAILABLE > REQUIRED MINIMAL & NEUTRAL basic clothing insulation

Moderadamente agressivo

Figura 78 - Cálculos obtido através da norma normas ISO 11079:2007, de acordo com o pressuposto 2.

De acordo com os resultados obtidos, através da análise das figuras 77 e 78, o blusão nas condições dos pressupostos 1 e 2, adequa-se à prática de montanhismo em condições ambientais moderadamente agressivas e a sua duração de exposição limite é de 8 horas.

CAPITULO V - CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

5.1 CONCLUSÕES

Os principais requisitos funcionais do blusão para condições extremas de frio (a temperaturas na ordem dos menos 20°C) são a elevada capacidade isolamento térmico, a baixa espessura e a baixa massa por unidade de área. Associado a estas três características do blusão, foram ainda consideradas importantes pelos praticantes de montanhismo outras propriedades funcionais, nomeadamente a flexibilidade, o conforto, a impermeabilidade e a respirabilidade.

A investigação realizada no âmbito desta dissertação consistiu em desenvolver um blusão com elevado isolamento térmico, obtido pela combinação de materiais têxteis leves, com pouca espessura, flexíveis e com elevado isolamento térmico e pela incorporação de materiais com baixa condutividade térmica (aerogel - material termo-isolante) e materiais metalizados com alumínio com propriedades refletivas do calor corporal.

As principais conclusões relativas à caracterização dos materiais são as que se apresentam a seguir:

Para responder aos requisitos técnicos identificados, ou seja, reduzir a espessura e o peso/m² dos materiais tradicionalmente utilizados para este fim, procedeu-se à caracterização de materiais com incorporação de aerogel, em estruturas têxteis com diferentes espessuras e peso/m². Pelos resultados obtidos conclui-se que são os substratos mais compactos que apresentam melhorias mais significativas no valor de resistência térmica após a incorporação do aerogel. Isto poderá ser explicado pelo facto do aerogel ficar mais disperso nos materiais menos compactos.

No entanto, os materiais compactos apresentam baixa flexibilidade e apesar de terem incorporado o aerogel continuam a apresentar menor resistência térmica do que os materiais volumosos. Para se obter um aumento da resistência térmica expressivo nos materiais compactos têm de ser incorporadas grandes quantidades de aerogel, diminuindo ainda mais a flexibilidade destes materiais.

Quando se analisa os resultados dos materiais sem a incorporação do aerogel, concluiu-se que os substratos têxteis mais volumosos (com maior quantidade de ar no seu interior) têm valores de resistência térmica superiores e conseqüentemente maior capacidade de isolamento térmico do que os mais compactos.

O não tecido selecionado para o desenvolvimento do blusão foi o PrimaLoft One 100g/m², 15 mm de espessura e resistência térmica igual a 0,3083 m²KW⁻¹, dado ter apresentado resultados de resistência térmica que respondem aos requisitos técnicos face ao seu peso/m² e espessura.

As principais conclusões relativas à caracterização dos blusões são as que se apresentam a seguir:

No âmbito da investigação e desenvolvimento blusão de elevado isolamento térmico, foram desenvolvidos dois protótipos, sendo que o 2º protótipo foi desenvolvido em três versões distintas.

Os quatro blusões desenvolvidos foram testados em manequim térmico e câmara climática de acordo com a norma NP EN ISO 15831:2006 para avaliação do seu isolamento térmico.

Estas medições para além de permitirem avaliar o isolamento térmico da peça final permitiram ainda tirar conclusões para futuras reengenharias que se tornarão extremamente úteis para otimizar os parâmetros mais relevantes num blusão deste tipo nomeadamente peso, espessura e compressibilidade para além do isolamento térmico propriamente dito.

No caso do 1º protótipo do blusão construído com a integração de aerogel através de um sistemas de bolsas, foi abandonada a continuidade do seu desenvolvimento devido aos constrangimentos identificados durante a investigação, nomeadamente ao nível de:

- Processo de construção bastante moroso e complexo (costuras por ultrassons e inserção de aerogel).
- Elevada perda de calor pelas uniões.
- Baixa flexibilidade.
- Muito baixa compressibilidade dos materiais.

No sentido de se colmatar os constrangimentos identificados durante a investigação e desenvolvimento do 1º protótipo foram estudadas duas novas abordagens, nomeadamente, combinação de materiais isolantes leves e de baixa espessura com um material revestido com aerogel e com um material metalizado com alumínio.

Assim, construíram-se 3 novas versões do blusão para avaliar o efeito da integração duas tecnologias distintas (não tecido revestido com aerogel e membrana metalizada).

As 3 versões do 2º protótipo do blusão apresentaram valores de isolamento térmico total (I_t) ligeiramente diferentes, sendo que das 3 versões a que apresentou um I_t maior foi a versão 3 (I_t igual a 0.86 m²KW⁻¹), seguida da versão 2 (I_t de 0.83 m²KW⁻¹) e por último a que apresentou menor isolamento térmico foi a versão 1 (I_t de 0.73 m²KW⁻¹).

A versão 2 do 2º protótipo do blusão (com integração de membrana metalizada) apresentou um maior incremento ao nível de isolamento térmico (I), comparativamente com as versões 1 e 3. O I da versão 2 é 14% superior comparativamente à do I da versão 1 e a versão 3 só teve um incremento de 4% em relação à versão 2. Pelos resultados obtidos, a metalização com alumínio revelou-se mais importante no aumento do isolamento térmico do que o aerogel.

Assim, a seleção do novo blusão de isolamento térmico recaiu na versão 2 do 2º protótipo, devido a este apresentar um bom compromisso entre o valor de resistência térmica e o custo/ facilidade de produção do mesmo.

O blusão selecionado, versão 2 do 2º protótipo, foi submetido a testes de simulação de utilização em ambientes frios moderadamente agressivos (-20°C), de acordo com a norma 11079:2007. Esta simulação permitiu concluir que o blusão se adequa à prática de montanhismo em condições ambientais moderadamente agressivas e a sua duração de exposição limite é de 8 horas.

Quanto à resistência evaporativa da versão 2 do 2ª blusão, os resultados obtidos demonstram que a apesar de os valores obtidos de resistência evaporativa serem elevados (superiores a 40 m².Pa.W⁻¹) é importante ter em conta que a norma “EN343 - Vestuário de proteção contra chuva” refere uma peça de vestuário de proteção contra a chuva, com resistência evaporativa superior a 40 m².Pa.W⁻¹, pode ser usada até 240 minutos num ambiente com temperatura de 10°C. A mesma norma já não indica qualquer limite num ambiente com uma temperatura de 5°C. Tendo em conta que num cenário montanhoso é muito provável que as temperaturas ambientes sejam bastante mais baixas que as referidas anteriormente é razoável considerar que a respirabilidade não será um fator determinante no desempenho térmico de um produto de montanhismo usado nessas condições (moderadamente agressivas).

5.2 PERSPETIVAS FUTURAS

Esta dissertação contribuiu para o aumento dos conhecimentos na área dos substratos têxteis e blusões de elevado isolamento térmico para condições extremas de frio, promovidos pela incorporação de materiais de baixa condutividade térmica (materiais nanoporosos – aerogel) e de materiais metalizados com alumínio (materiais refletivos). Este conhecimento permitirá, tirar conclusões para futuras reengenharias que se tornarão extremamente úteis para otimizar os parâmetros mais relevantes num blusão deste tipo nomeadamente peso, espessura, flexibilidade e compressibilidade para além do isolamento térmico propriamente dito.

O aerogel revelou-se um material interessante para incrementar as propriedades de isolamento térmico dos materiais têxteis, contudo o sistema de integração deste produto em estruturas têxteis necessita de ser otimizado de forma a torná-lo mais facilmente industrializável e por outro lado responder aos requisitos do blusão identificados pelos montanhistas, principalmente ao nível de flexibilidade, peso, espessura e conforto.

A investigação para a incorporação de aerogel em estruturas têxteis para promover as suas propriedades de isolamento térmico deverá continuar, uma vez que este material é o sólido mais leve do mundo e tem um elevado potencial ao nível das capacidades de isolamento térmico.

BIBLIOGRAFIA

- 3M 2012, Thinsulate™ Insulation, acedido dezembro 2012, <http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/Thinsulate_Insulation/Homepage/Product_Information/Apparel/>.
- Abc-of-Mountaineering 2013, *What is mountaineering*, acedido maio 2013, <<http://www.abc-of-mountaineering.com/info/what-is-mountaineering.asp>>
- Abdel-Rehim, Z., Saad, M., El-Shakankery, M e Hanafy, I 2006, 'Textile fabrics as Thermal insulators', *AUTEX Research Journal*, Vol. 6, NO. 3, <<http://www.autexrj.org/No3-2006/0167> >
- Advansa 2012, *Thermolite*, acedido dezembro 2012, <<http://www.advancedfibres.eu/thermolite.htm>>.
- Airvantage 2011, *Airvantage*, acedido dezembro 2012, <[http://www.adventuremotogear.com/images/mat_gtx_airvantage .jpg](http://www.adventuremotogear.com/images/mat_gtx_airvantage.jpg)>.
- Aspen Aerogels Inc 2012, *Extreme Insulation for Extreme Environments*, acedido dezembro 2012, <<http://www.aerogel.com/markets/outdoor.html>>.
- ASTM International 2010, *Measuring the Evaporative Resistance of Clothing Using a Sweating Manikin*, F2370, ASTM International, West Conshohocken, United States.
- Bergans 2013a, *Slogen Light Insulated Jacket*, acedido Julho 2013, <<http://retailer.bergans.com/clothing/jacket/daune/gefüttert/Slogen-Lt-Ins-Jkt-Lt-SeaBlue-NeonOran-S-151257-p0000608927>>.
- Bergans 2013b, Expedition Down Parka, acedido Julho 2013, <<http://retailer.bergans.com/clothing/jacket/daune/gefüttert/Expedition-Down-Parka-Red-Black-S-532200-p0000021005>>.
- Cabot aerogel 2013, *Thermal Wrap for Clothing & Outerwear Insulation*, acedido Julho 2013, <http://www.cabot-corp.com/Aerogel/Apparel/Performance>.
- CITEVE 2010, informações internas não publicadas.
- Coldfit 2012, acedido novembro 2012, <<http://www.citeve.pt>>.
- Dorchech, A, e Abbasi, M.2008, 'Silica aerogel; synthesis, properties and characterization', *Journal of Materials Processing Technology*, 199, pág. 23.
- Dunmore Corporation 2012, *Metallized filmes*, acedido dezembro 2012, <<http://www.dunmore.com>>.

- Física net 2013, *Constantes físicas: Condutividade térmica de uma substância (k)*, acessido agosto 2013, <[http://www.fisica.net/constantes/condutividade-termica-\(k\).php](http://www.fisica.net/constantes/condutividade-termica-(k).php)>.
- Gore-Tex 2011, *AIRVANTAGE Insulation Technology*, acessido dezembro 2012, <<http://www.gore-tex.com.au/airvantage-insulation-technology/w4/i1001292/>>.
- Grado Zero Espace 2012, acessido dezembro 2012, <<http://www.gzespace.com/gzenew/index.php?lang=en>>.
- Haglöfs 2013, *Mountaineering*, acessido julho 2013, <http://www.haglofs.com/en-US/products/clothing/activities/>.
- Huang, J. 2006, 'Thermal parameters for assessing thermal properties of clothing', *Journal of Thermal Biology*, acessido dezembro 2012, ScienceDirect <www.elsevier.com/locate/jtherbio>.
- ISO 9073-1:1989, *Determination of the mass per unit area – Test methods for nonwoven part-1*, International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 11092:1993, *Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hotplate test)*, International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 7730:2005, *Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*, International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 11079: 2007, *Ergonomics of the thermal environment – Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects*, International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO 9920: 2007, *Ergonomics of the thermal environment – Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*, International Organization for Standardization, Geneva.
- Lee, Y., Hong, K., Hong S. 2007 '3D quantification of microclimate volume in layered clothing for the prediction of clothing insulation', *Applied Ergonomics*, acessido dezembro 2012, ScienceDirect <www.elsevier.com/located/apergo>.
- Magalhães, A s.d., *Ambiente Térmico*, Talentus.
- Marmot 2012, *Mountain LLC. 8000M PARKA Marmot Down*, acessido dezembro 2012, <<http://marmot.com/>>.
- Mattila, H.R. 2006, *Intelligent textiles and clothing*, 1ª ed., Woodhead Publishing Limited, The Textile Institute, Cambridge.

- Millet 2013, *Down Alpine Jacket*, acessido julho 2013, <<http://www.millet.fr/en/products/spring-summer-2013/mens-down-jackets/belay-device-jacket>>
- Moura, B. 2009, 'Desenvolvimento de materiais com elevado isolamento térmico', Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- NP EN 12127:1999 *Determinação da massa por unidade de superfície em amostras de pequena dimensão*, Instituto Português da Qualidade, Caparica.
- NP EN ISO 9073-2:2002 *Determinação da espessura - Método de ensaio para não-tecidos*, Instituto Português da Qualidade, Caparica.
- NP EN ISO 15831:2006 *Medição do isolamento térmico através de um manequim térmico*, Instituto Português da Qualidade, Caparica.
- NP EN 14058:2006, *Vestuário de proteção Vestuário para proteção contra ambientes frios*, Instituto Português da Qualidade, Caparica.
- Nylstar 2012, *Nylair*, acessido dezembro 2012, <<http://www.nylstar.com/>>.
- Patagonia 2013, *Insulation Synthetic DAS Parka*, acessido Julho 2013, <<http://www.patagonia.com/us/shop/alpine-climbing?k=3f>>
- Polarguard 2012, *Polarguard*, acessido dezembro 2012, <<http://www.polarguard.com/main.htm>>.
- Polartec 2012, *Polartec*, acessido dezembro 2012, <<http://www.polartec.com/>>.
- Primaloft 2013, *The World's Best Synthetic Insulation*, acessido junho 2013, <<http://www.primaloft.com/en/performance/products/primaloft-one.html>>.
- Rehim 2006, 'Textile Fabrics as Thermal Insulators', *AUTEX Research Journal*, Vol. 6, No 3.
- Shishoo R. 2005, *Textiles in Sport*, 1ª ed., Woodhead Publishing Limited, The Textile Institute, Cambridge.
- Silva, C., Matos, A. e Silva, E. 2007, *Concepção de Vestuário para Clima Glacial*, Encuentro Latinoamericano de Diseño, Palermo.
- Silva, L., Toledo, R., Grossmann P s.d., *Conforto Térmico, Métodos Experimentais em Energia e Ambiente*.
- The North Face 2013, *Himalayan Parka*, acessido Julho 2013, <http://www.thenorthface.com/catalog/sc-gear/mens-jackets-vests/men-39-s-himalayan-parka.html?from=subCat>.

- Wan, X.e Fan, J. 2012, ' Heat transfer through assemblies incorporating reflective interlayers ', *International Journal of Heat and Mass Transfer*, acedido dezembro 2012, ScienceDirect <www.elsevier.com/locate/ijhmt>.
- Williams JT. 2009, *Textiles for cold weather apparel*, n.93, Woodhead Publishing Limited, The Textile Institute, Oxford, Cambridge, New Delhi.
- X-Bionic® 2010, *x-bionic*, acedido dezembro 2012, <<http://www.x-bionic.com/>>.
- X-Static 2012, *Staticfiber*, acedido dezembro 2012, <<http://www.x-staticfiber.com/index3.htm>>.

Anexo I – Questionário de Avaliação de Necessidades dos Montanhistas

Questionário de Avaliação de Necessidades dos Montanhistas

Responda por favor às seguintes questões:

1. O que associa a "conforto" quando pensa num blusão para montanhismo?

2. O que associa a "desconforto" quando pensa num blusão para montanhismo?

3. O que associa a "segurança" quando pensa num blusão para montanhismo?

4. O que associa a "insegurança/perigo" quando pensa num blusão para montanhismo?

Coloque uma cruz nas opções correspondentes às suas opções

5. Que condições de temperatura tem de suportar durante a actividade de montanhismo

0 a -10 °C	<input type="checkbox"/>
-11 a -30 °C	<input type="checkbox"/>
-31 a -50°C	<input type="checkbox"/>
-51 a -70°C	<input type="checkbox"/>

6. Assinale com um x que zonas do corpo sente mais frio?

Pés	<input type="checkbox"/>
Pernas	<input type="checkbox"/>
Peito	<input type="checkbox"/>
Mãos	<input type="checkbox"/>
Braços	<input type="checkbox"/>
Costas	<input type="checkbox"/>
Cabeça	<input type="checkbox"/>

7. Como valoriza cada um dos seguintes parâmetros quando compra um blusão?

	Sem importância	1	2	3	4	5	Muito importante
Aspecto estético	Sem importância	<input type="checkbox"/>	Muito importante				
Facilidade de vestir	Sem importância	<input type="checkbox"/>	Muito importante				
Facilidade de despir	Sem importância	<input type="checkbox"/>	Muito importante				
Conforto	Sem importância	<input type="checkbox"/>	Muito importante				
Leveza	Sem importância	<input type="checkbox"/>	Muito importante				
Pouco volumoso	Sem importância	<input type="checkbox"/>	Muito importante				
Facilidade de movimentos	Sem importância	<input type="checkbox"/>	Muito importante				
Sensação de "seco"	Sem importância	<input type="checkbox"/>	Muito importante				
Resistência dos materiais	Sem importância	<input type="checkbox"/>	Muito importante				
Isolamento térmico	Sem importância	<input type="checkbox"/>	Muito importante				
Impermeabilidade	Sem importância	<input type="checkbox"/>	Muito importante				
Respirabilidade	Sem importância	<input type="checkbox"/>	Muito importante				
Ausência de cheiros (suor por exemplo)	Sem importância	<input type="checkbox"/>	Muito importante				
Alta visibilidade	Sem importância	<input type="checkbox"/>	Muito importante				
Facilidade com que se suja	Sem importância	<input type="checkbox"/>	Muito importante				
Facilidade com que se limpa	Sem importância	<input type="checkbox"/>	Muito importante				
Cor	Sem importância	<input type="checkbox"/>	Muito importante				
Quais as cores que considera mais importantes. Liste pf por ordem decrescente de importância.							
Outros. Identifique-os:	<input type="checkbox"/>						