



SMARTSUIT DESIGN

SMARTSUIT DESIGN

TSSiPRO – Technologies for Sustainable and Smart Innovative Products

AUTORES *AUTHORS*

–

Daniel Vieira
André Paiva
Bernardo Providência
Helder Carvalho
Joana Cunha
Fernando Guimarães

–

Guimarães
2019

FICHA TÉCNICA *TECHNICAL SHEET*

TÍTULO *TITLE*

Smartsuit Design

AUTORES *AUTHORS*

Daniel Vieira

André Paiva

Bernardo Providência

Helder Carvalho

Joana Cunha

Fernando Guimarães

DESIGN GRÁFICO *GRAPHIC DESIGN*

Daniel Vieira

EDIÇÃO *EDITION*

2C2T-LAB2PT/TSSIPRO – Universidade do Minho

TIRAGEM *COPIES*

300 Exemplares *Copies*

IMPRESSÃO *PRINT*

GRECA Artes Gráficas

ISBN

978-989-54168-1-3

DEPÓSITO LEGAL *LEGAL DEPOSIT*

465394/19

“Os nossos corpos e movimentos estão em constante interação com o ambiente; o mundo e a individualidade humana redefinem-se um ao outro constantemente. A percepção do corpo e a imagem do mundo tornam-se uma experiência existencial contínua; não há corpo separado de seu domicílio no espaço, não há espaço desvinculado da imagem inconsciente de nossa identidade pessoal perceptiva.”

“Our bodies and movements are in constant interaction with the environment; the world and self inform and redefine each other constantly. The percept of the body and the image of the world turn into one single continuous existential experience; there is no body separate from its domicile in space, and there is no space unrelated to the unconscious image of the perceiving self.” (Pallasmaa, 2009, p. 40)

A sociedade contemporânea vive rodeada de artefactos e serviços cada vez mais diversificados. Nesta corrente, o design mergulha na era dos têxteis inteligentes e na incorporação desta tecnologia no desenvolvimento de novos produtos. Se, por um lado, este novo tipo de têxteis pode satisfazer uma necessidade prática, por outro, poderá tornar-se uma expressão de identidade cultural. Esta mudança no têxtil é alcançada através de novos materiais, tecnologias e abordagens multidisciplinares. A introdução de tecnologias de computação em estruturas têxteis oferece uma oportunidade para o desenvolvimento de produtos têxteis com novos comportamentos e funcionalidades.

Através do projeto aqui apresentado, pretende-se inovar e desenvolver produtos têxteis inteligentes. Após pesquisa sistemática foi selecionada uma área de intervenção tecnológica – a medida da atividade cardíaca, conjugada com uma atividade desportiva, o ciclismo.

Este documento descreve o processo de design e desenvolvimento de um *skinsuit* para ciclismo, com eléctrodos embebidos para a monitorização da frequência cardíaca e desempenho físico – de forma prática e discreta. Os eléctrodos foram produzidos e testados, utilizando diferentes materiais e técnicas têxteis. A medição do sinal é feita através do dispositivo BBB - Bluetooth 4.0 (Y8YBH20) e os testes de desempenho foram realizados pelo aplicativo móvel BBB - Bikeboard. Como resultado, foi obtido um *skinsuit* com design contemporâneo.

Palavras-chave: roupa de ciclismo; design; e-têxteis; têxteis inteligentes; wearables

Contemporary society lives surrounded by increasingly diverse artefacts and services. In this chain, design plunges into the era of smart textiles and the incorporation of this technology in the development of new products. Whilst on one hand, this new type of textiles can satisfy a practical need; on the other hand, it can become an expression of cultural identity. This change in the textile is achieved through new materials, technologies and multidisciplinary approaches. The introduction of computing technologies into textile structures offers an opportunity for the development of textile products with new behaviours and functionalities.

Through the project presented here, we intend to innovate and develop smart textile products. After systematic research, an area of technological intervention was selected - the measurement of cardiac activity, coupled with a sporting activity, cycling.

This document describes the design and development process of a skinsuit for cycling, with embedded electrodes for monitoring heart rate and physical performance - practically and discreetly. The electrodes were produced and tested using different materials and textile techniques. Through the BBB - Bluetooth 4.0 device (Y8YBH20) signal measurement is done, and the BBB - Bikeboard mobile application was used for performance tests. As a result, a skinsuit with a contemporary design was obtained.

Keywords: cycling wear; design; e-textile; smart textiles; wearables

ÍNDICE INDEX

1 INTRODUÇÃO	09
<i>INTRODUCTION</i>	
2 ESTADO DA ARTE	11
<i>STATE OF THE ART</i>	
2.1 Enquadramento	11
<i>Background</i>	
2.2 Eléctrodos e Sensores Têxteis	11
<i>Electrodes and Textile Sensors</i>	
2.3 Produtos Existentes no Mercado	16
<i>Existing Products on the Market</i>	
3 MATERIAIS E MÉTODOS	17
<i>MATERIALS AND METHODS</i>	
3.1 Processo de Design	17
<i>Design Process</i>	
3.2 Usabilidade	19
<i>Usability</i>	
3.3 Definição do Conceito	19
<i>Definition of Concept</i>	
3.4 Escolha do e-têxtil	23
<i>E-textile Choice</i>	
3.5 Prototipagem	30
<i>Prototyping</i>	
4 O PRODUTO	41
<i>THE PRODUCT</i>	
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
<i>FINAL REMARKS</i>	
REFERÊNCIAS	43
<i>REFERENCES</i>	

1 INTRODUÇÃO INTRODUCTION

Fig. 1 © LaPresse Torino / Fausto Coppi (1940)



Fotografias de 1870 revelam que ciclistas pioneiros vestiam adaptações das suas próprias roupas quotidianas, fabricadas a partir de peças como coletes de algodão de manga curta, calça de *tweed* e camisa de lã. Era necessária uma alternativa, e na década de 1940, abordado pelo ciclista Fausto Coppi, o alfaiate italiano Armando Castelli teve a ideia de usar seda para criar uma camisola leve e fresca (Fig. 1). Na década de 1950, a camisola de seda tinha já feito incursões no pelotão. Por outro lado, a seda tinha uma característica altamente desejável pelos patrocinadores, que viram na camisola um suporte para publicidade. Esta possibilidade é explorada até aos dias de hoje. O uso da seda possibilitou também a conceção de camisolas com fechos, bolsos e golas. O surgimento do poliéster e particularmente do elastano, vieram também proporcionar a leveza e sensação de seda.



Fig. 2 © Rapha / TeamSky (2014)

Photographs from 1870 reveal that pioneer cyclists wore adaptations of their everyday clothing made from pieces such as short-sleeved cotton vests, tweed trousers, and woollen shirts. An alternative was needed, and in the 1940s, approached by cyclist Fausto Coppi, the Italian tailor Armando Castelli had the idea of using silk to create a lighter and fresher jersey shirt (Fig. 1). By the 1950s, the silk jersey shirt had already made inroads into the peloton. On the other hand, silk had a highly desirable feature for the sponsors, who saw the t-shirt as an advertising medium. The use of silk also made it possible to design jersey shirts with zippers, pockets and collars. The appearance of polyester and particularly elastane, also provided the lightness and feel of silk. In 2014, the Team Sky cycling team used the Mesh Skinsuit, a light and breathable suit

1 INTRODUÇÃO INTRODUCTION

Em 2014, a equipa de ciclismo Team Sky usa o *Mesh Skinsuit*, um fato leve e respirável, graças ao design do têxtil em malha (Fig. 2).

As tecnologias da informação (ICT), as tecnologias portáteis e os têxteis inteligentes estão a mudar a forma como pensamos e concebemos novos conceitos e paradigmas para a área do desporto e bem-estar. Com o advento de novos tipos de têxteis, eletrónicos (por exemplo, para monitorização da atividade cardíaca ou muscular), o têxtil tornou-se uma plataforma integradora de novas tecnologias e incrementadora de funcionalidades. Com a adição de tecnologias computacionais, o têxtil torna-se “inteligente”, fornecendo informações ao usuário de forma omnipresente, promovendo uma nova forma de interação com o têxtil (Paiva, Vieira, Cunha, Carvalho & Providência, 2018).

Este livro descreve o processo de design de um *skinsuit* para ciclismo de estrada, contrarrelógio, ciclismo de pista, ciclismo de montanha e ciclocross, onde o e-têxtil explorou a análise de frequência cardíaca. Para isso, entendeu-se: (i) o propósito do conceito; (ii) a tecnologia usada; (iii) o contexto em que o produto é usado.

Desta forma, o projeto começa por discutir a pertinência das tecnologias de têxteis eletrónicos na camisola, sendo então considerada a relação com o utilizador ao nível da satisfação, comunicação e funcionalidade, e por fim uma nova proposta de design é desenvolvida em conjunto com hardware/software disponíveis no mercado.

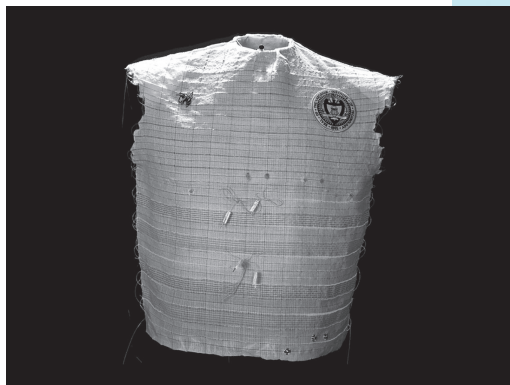
thanks to the meshed textile design (Fig. 2).

Information technology (ICT), portable technologies and smart textiles are changing the way we think and design new concepts and paradigms for sports and wellness. With the advent of new types of textiles, electronic, e.g., to monitor heart or muscle activity, textiles have become a platform for integrating new technologies and enhancing functionalities. With the addition of computational technologies, textiles become “smart”, providing information to the user ubiquitously, promoting a new way of interacting with textiles (Paiva, Vieira, Cunha, Carvalho & Providência, 2018).

This book describes the design process of a skinsuit for road cycling, time trial, track cycling, mountain biking and cyclocross, where the e-textile explored heart rate analysis. For this, it was necessary to understand: (i) the purpose of the concept; (ii) the technology used; (iii) the context in which the product used.

In this way, the project begins by discussing the relevance of the electronic textile technologies in the jersey shirt. The relationship with the user in terms of satisfaction, communication and functionality are considered, and finally, a new design proposal is developed together with hardware/software available in the market.

Fig. 3 © Wearable Motherboard (2002)



2.1 Enquadramento

A definição de têxteis inteligentes deriva do conceito de materiais inteligentes, referido pela primeira vez em 1989 no Japão. São têxteis capazes de monitorizar o seu próprio estado e comportamento estrutural, detetar fatores externos, efetuar operações e enviar informação (Van Langenhove, 2015). Estes avanços tecnológicos, permitiram o desenvolvimento de têxteis para a área de aplicações médicas (monitorização, diagnóstico e alerta), de segurança (detecção, prevenção e proteção) e desportivas (conforto, treino e monitorização) (Schwarz, Van Langenhove, Guermonprez, & Deguillemont, 2010).

2.2 Eléttodos e Sensores Têxteis

Um dos projetos pioneiros foi a t-shirt Wearable Motherboard (Fig. 3) (Park, Mackenzie, & Jayaraman, 2002), tendo a partir deste surgido vários outros. A Comissão Europeia cofinanciou vários projetos que fizeram parte do SFIT, como: Biotex, Context, Ofseth, Proetex,



Fig. 4 © Levi's® Commuter X Jacquard By Google (2016)

2.1 Background

The definition of intelligent textiles derives from the concept of smart materials, first mentioned in 1989 in Japan. Intelligent textiles are textiles able to monitor their own state and structural behaviour, detect external factors, perform operations and send information (Van Langenhove, 2015). These technological advances allowed the development of textiles for medical (monitoring, diagnosis and alert), safety (detection, prevention and protection) and sports (comfort, training and monitoring) applications (Schwarz, Van Langenhove, Guermonprez, & Deguillemont, 2010).

2.2 Electrodes and Textile Sensors

One of the pioneering studies was the Wearable Motherboard T-shirt (Fig. 3) (Park, Mackenzie, & Jayaraman, 2002). Several other emerged, many co-financed by the European Commission, including: Biotex, Context, Ofseth, Proetex, Wealthy, MyHeart, among others (Lymberis &

Wealthy, MyHeart, entre outros (Lymberis & Paradiso, 2008). No virar do século XX, a Royal Philips Electronics apresentou o projeto estratégico New Nomads, um conceito visionário de roupas inteligentes (Eves, Green, van Heerden, Marzano, & Traldi, 2000). Recentemente, alguns estudos de sensores têxteis para sinais biológicos têm sido impulsionado pela ideia de construir sistemas de monitorização remota que possam ser conectados continuamente ao corpo sem comprometer o conforto, assim como a roupa. Vários materiais têxteis e técnicas têm sido utilizados para produzir elétrodos têxteis. Na Eletrocardiografia (ECG) e na Eletromiografia de superfície (EMG), são usados elétrodos de superfície. A importância comercial deste tipo de produtos começa a ser reconhecida, graças à introdução de novos tipos de fibras têxteis condutoras elétricas, miniaturização da eletrônica e surgimento de tecnologias sem fio que permitem a comunicação com outros dispositivos.

Surgiram várias marcas a investir significativamente em produtos têxteis inteligentes, principalmente para o mercado desportivo e bem-estar, sendo exemplo: AiQ Smart Clothing (Fig. 5), OM Signal (Fig. 6), Adidas (Fig. 7), Ralph Lauren (Fig. 8), Athos® (Fig. 9), Hexoskin (Fig. 10) (Postolache, Carvalho, Catarino, & Postolache, 2017). Destas seis empresas é de destacar a AiQ Smart Clothing, que desenvolveu o Bioman⁺, uma t-shirt que possui sensores incorporados para monitorizar a frequência cardíaca, a frequência respiratória e a temperatura da pele; a Hexoskin que introduziu no mercado uma t-shirt que combina sensores têxteis para fornecer dados sobre frequência cardíaca e variabilidade, frequência respiratória, parâmetros de oximetria e

Paradiso, 2008). At the turn of the 20th century, Royal Philips Electronics presented the New Nomads strategic project, a visionary concept of smart clothing (Eves, Green, van Heerden, Marzano, & Traldi, 2000). Recently some studies of textile sensors for biological signals have been driven by the idea of building remote monitoring systems that can continuously connect to the body without compromising comfort, just as clothing. Various textile materials and techniques have been used to produce textile electrodes. In electrocardiography (ECG) and surface electromyography (EMG), surface electrodes are used. The commercial importance of this type of products begins to be recognized, thanks to the introduction of new types of electrically conductive textile fibres, miniaturization of electronics and the emergence of wireless technologies that allow communication with other devices.

Several brands have invested heavily in smart textile products, especially for the sports and wellness market, e.g. AiQ Smart Clothing (Fig. 5), OM Signal (Fig. 6), Adidas (Fig. 7), Ralph Lauren (Fig. 8), Athos® (Fig. 9), Hexoskin (Fig. 10) (Postolache, Carvalho, Catarino, & Postolache, 2017). Of these six companies, we highlight AiQ Smart Clothing that developed Bioman⁺, a t-shirt that has built-in sensors to monitor heart rate, respiration rate and skin temperature. Hexoskin introduced a T-shirt that combines textile sensors to provide data on heart rate and variability, respiration rate, oximetry parameters and activity; and Athos® that has designed a compression t-shirt and shorts using sensors printed with conductive rubber to provide information on heart rate, breathing, and muscle activity. Throughout this

atividade; e a Athos® que deu forma a uma t-shirt de compressão e a um calção que faz uso de sensores impressos com borracha condutiva para fornecer informações sobre frequência cardíaca, respiração e atividade muscular. Ao longo desta evolução cronológica é de notar um aumento significativo na preocupação com o design. A integração de sensores permite medir uma ampla variedade de dados que vão desde a proximidade ao cheiro, conseguindo-se adquirir sinais biológicos provenientes do corpo humano, como da envolvente do contexto de uso, luz, humidade, temperatura, som ou fumo. Estes são recolhidos e analisados por microprocessadores. Uma roupa inteligente pode detetar, atuar, gerar e armazenar energia, comunicar, processar e interligar dados, sem, no entanto, conter necessariamente todas estas funcionalidades. As diferentes funções podem ser na forma de dispositivos eletrónicos, ou na propriedade inerente do material ou da estrutura têxtil. Sendo condição prévia que o vestuário deva permanecer flexível, confortável, lavável, durável e resistente (Berglin, 2013). Já a integração verdadeiramente invisível da tecnologia ainda não parece ser possível, ou pelo menos, nenhuma é conhecida por estar no mercado. No entanto, toda a tecnologia visível é projetada para parecer agradável (e até despercebida), como se fosse parte do vestuário e não apenas um objeto estranho. A evolução exponencial da tecnologia *smartphone* e integração da mesma através de aplicativos abriu um enorme número de possibilidades. Recentemente foi apresentado o casaco de ganga Jacquard™, desenhado para ciclistas urbanos e desenvolvido pela Levi's® Commuter em conjunto com a Google (Fig. 4), em que a tecnologia aplicada não é novidade, mas a interação da mesma com o *smartphone* e com um novo conceito de design torna o produto inovador.

chronological progression, a significant increase in design concern is noted. Sensor integration allows the measurement of a wide variety of data ranging from proximity to odour, collecting biometric signals from the human body, such as the surrounding context of use, light, humidity, temperature, sound or smoke - these are collected and analysed by microprocessors. Smart clothing can detect, act, generate and store energy, communicate, process and interconnect data, without necessarily containing all these functionalities. The different functions may be in the form of electronic devices or the inherent property of the material or the textile structure. As a prerequisite, clothing must remain flexible, comfortable, washable, durable and resistant (Berglin, 2013).

However, the genuinely invisible integration of technology still does not seem possible, or at least none is known to be on the market. All visible technology is designed to appear pleasant (and even unnoticed), as if it were part of the garment and not just a foreign object.

The exponential evolution of smartphone technology and its integration through applications has enabled a considerable number of possibilities. Recently, the Jacquard™ Trucker jacket designed for urban cyclists and developed by Levi's® Commuter together with Google was presented (Fig. 4). The technology applied is not new, but the interaction with the smartphone and with a new design concept makes the product innovative.

2 ESTADO DA ARTE STATE OF THE ART

Fig. 5 © AiQ Smart Clothing - Bioman+ (2013)



Fig. 6 © OM Signal - Smart T-shirt (2014)



Fig. 7 © Adidas - Smart Bra (2015)



2 ESTADO DA ARTE *STATE OF THE ART*



Fig. 8 © Ralph Lauren - Polo Tech Shirt (2015)



Fig. 9 © Athos - Men's Kit (2015)



Fig. 10 © Hexoskin - Smart Shirt (2016)

2.3 Produtos Existentes no Mercado

T-shirt inteligente com capacidade de monitorização da frequência cardíaca (HR)

- Clothing+ (Finlândia, 1998)
- Wealthy (Europa, 2002)
- Sensatex (EUA, 2003)
- SmartLife (Inglaterra, 2003)
- MagIC (Itália, 2005)
- Biodivice Vital Jacket (Portugal, 2009)
- Philips Body Vest (Holanda, 2009)
- Nuubo, NECG (Espanha, 2011)
- WearTech, GOW (Espanha, 2012)

T-shirt inteligente com capacidade de monitorização da frequência cardíaca (HR), frequência respiratória e atividade física:

- Chronious (Itália, 2012)
- Vivonoetics (EUA, 2013)
- AiQ, BioMan⁺ (Taiwan, 2013)
- OM Signal (Canadá, 2014)
- Gymi (Austrália, 2015)

T-shirt inteligente com capacidade de monitorização da frequência cardíaca (HR) e atividade física:

- BioShirt (Coreia, 2006)
- Nuubo, UC3M (Espanha, 2013)
- NTT Docomo C3fit IN-pulse (Japão, 2014)
- Cityzen Science (França, 2014)
- Adidas miCoach (Alemanha, 2014)
- Adidas SmartBra (EUA, 2015)
- Ralph Lauren Polo Tech (EUA, 2015)
- Sensoria® (EUA, 2016)
- Samsung Body Compass 2.0 (Coreia, 2016)

T-shirt inteligente com capacidade de monitorização da frequência cardíaca (HR), eletrocardiograma (ECG), frequência respiratória (fR) e eletromiografia (EMG):

- Swedish School of Textiles, High-tech Clothing (HR, fR, EMG) (Suécia, 2008)
- Jabil, Peak+ (HR, fR, EMG) (Rússia, 2015)
- Athos® (EMG) (EUA, 2015)
- Hexoskin (HR, fR) (EUA, 2016)
- Biopac (ECG, fR) (EUA, 2016)

2.3 Existing Products on the Market

Smart t-shirt with capability of heart rate monitoring (HR)

- *Clothing+ (Finland, 1998)*
- *Wealthy (Europe, 2002)*
- *Sensatex (USA, 2003)*
- *SmartLife (England, 2003)*
- *MagIC (Italy, 2005)*
- *Biodivice Vital Jacket (Portugal, 2009)*
- *Philips Body Vest (Netherlands, 2009)*
- *Nuubo, NECG (Spain, 2011)*
- *WearTech, GOW (Spain, 2012)*

Smart t-shirt with capability of heart rate (HR), respiratory rate and activity recording:

- *Chronious (Italy, 2012)*
- *Vivonoetics (USA, 2013)*
- *AiQ, BioMan (Taiwan, 2013)*
- *OM Signal (Canada, 2014)*
- *Gymi (Australia, 2015)*

Smart t-shirt with capability of heart rate (HR) and activity recording:

- *BioShirt (Korea, 2006)*
- *Nuubo, UC3M (Spain, 2013)*
- *NTT Docomo C3fit IN-pulse (Japan, 2014)*
- *Cityzen Science (France, 2014)*
- *Adidas miCoach (Germany, 2014)*
- *Adidas SmartBra (USA, 2015)*
- *Ralph Lauren Polo Tech (USA, 2015)*
- *Sensoria® (EUA, 2016)*
- *Samsung Body Compass 2.0 (Korea, 2016)*

Smart t-shirt with capability of heart rate (HR), electrocardiography (ECG), respiration (fR) and electromyography (EMG):

- *Swedish School of Textiles, High-tech Clothing (HR, fR, EMG) (Sweden, 2008)*
- *Jabil, Peak+ (HR, fR, EMG) (Russia, 2015)*
- *Athos® (EMG) (USA, 2015)*
- *Hexoskin (HR, fR) (USA, 2016)*
- *Biopac (ECG, fR) (USA, 2016)*

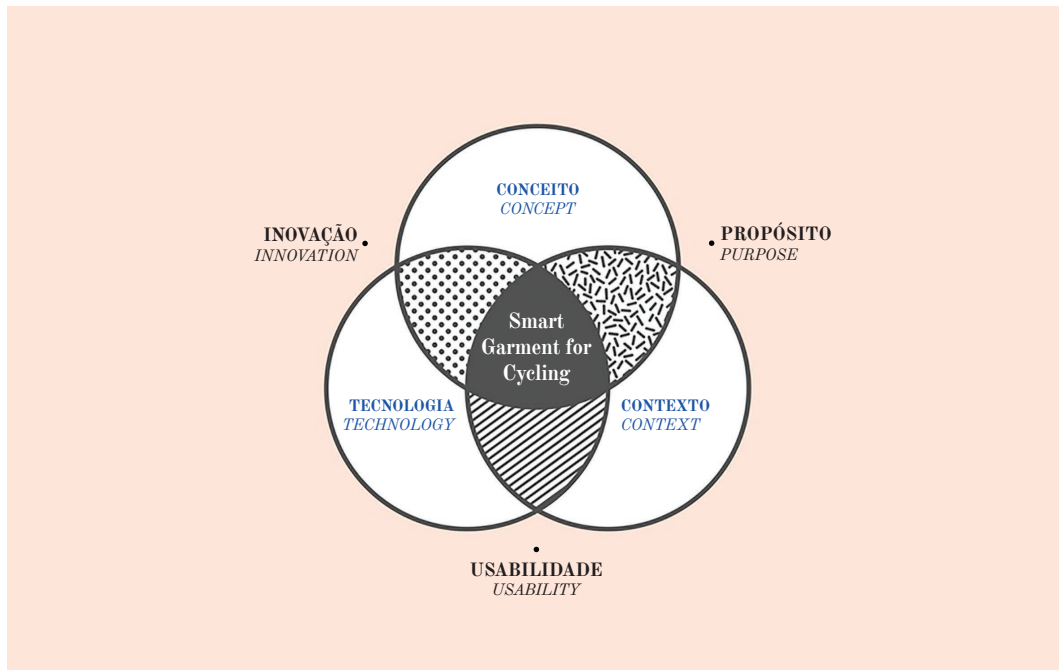


Fig. 11 © Diagrama de Venn / Venn Diagram

3.1 Processo de Design

O presente projeto segue uma metodologia de design sugerida pelos autores (Fig. 11) com base no entendimento do: (i) propósito do conceito; (ii) tecnologia usada; (iii) contexto em que o produto é usado. Diversos materiais foram explorados para fazer elétrodos têxteis, a fim de encontrar um material adequado e método para integrar elétrodos ECG na peça de vestuário.

Os testes de desempenho foram realizados usando o aplicativo móvel BBB - Bikeboard. Já para produzir os protótipos do *skinsuit* (tamanho S), os moldes foram projetados e cortados, primeiro para um protótipo parcial, depois para um protótipo completo da peça e consecutivamente para um protótipo final com elementos gráficos. Após cada adaptação, um novo protótipo foi feito para corrigir cada etapa de desenvolvimento.

3.1 Design Process

The herein described project follows a design methodology suggested by the authors (Fig. 11) based on the understanding of (i) the purpose of the concept; (ii) the technology used; (iii) the context in which the product is used. Various materials have been exploited to make textile electrodes in order to find a suitable material and method for integrating ECG electrodes into the garment.

Performance tests were done using the BBB - Bikeboard mobile application. In order to create skinsuit prototypes (size S), the patterns were designed and cut, first for a partial prototype, then for a complete prototype of the piece and consecutively for a final prototype with graphic elements. After each adaptation, a new prototype was made to correct each development stage.

3 MATERIAIS E MÉTODOS *MATERIALS AND METHODS*

Fig. 12 © Simon Connellan on Unsplash



Fig. 13 © Simon Connellan on Unsplash



Fig. 15 © Angel Santos on Unsplash



Fig. 14 © Simon Connellan on Unsplash



Fig. 16 © Angel Santos on Unsplash



3.2 Usabilidade

A investigação demonstra que o design de um novo tipo de *skinsuit* para a prática amadora e profissional, fornece uma ampla aplicabilidade em modalidades ligadas ao ciclismo: estrada (Fig. 12), contrarrelógio (Fig. 13), pista (Fig. 14), montanha (Fig. 15), ciclocross (Fig. 16) e consequentemente uma maior abrangência comercial do *skinsuit*. Para cada uma das modalidades a variação do *skinsuit* vai desde a não utilização de bolso traseiro, conjugado com a utilização de tecido respirável nas laterais (para contrarrelógio e pista), a utilização de um bolso traseiro (para ciclocross) e a utilização dos três bolsos traseiros (para estrada e montanha).

3.3 Definição do Conceito

O conceito foi desenvolvido para atender aos padrões contemporâneos de vestuário e tecnologia para ciclismo, combinados de maneira elegante. O produto projetado é um *skinsuit* inteligente (Fig. 17), que integra elétrodos ECG e um dispositivo de monitorização cardíaca, integrado de forma quase invisível, sem comprometer a estética. Para esta peça de vestuário de ciclismo foi escolhido uma malha jersey de poliamida/elastano, suave e que proporciona alguma compressão, mantendo os elétrodos em contato com o corpo. A peça foi projetada sem costuras nos ombros, uma vez que a posição do dispositivo ECG e as suas conexões impossibilitaram as mangas em raglã. Os elétrodos foram colocados perto do centro frontal, abaixo do peito, onde a forma do corpo é mais uniforme, para um maior contacto dos mesmos com o corpo.

3.2 Usability

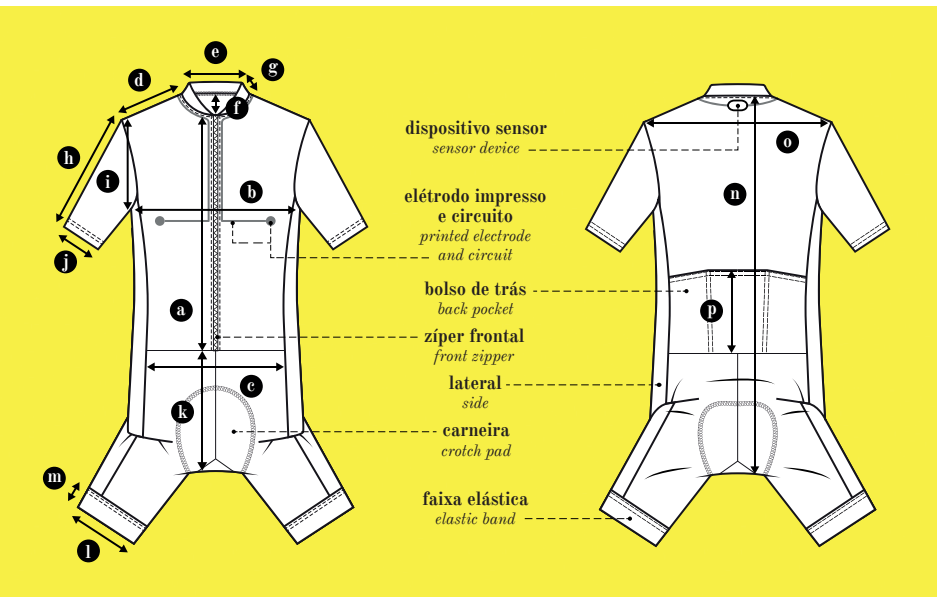
The research shows that the design of a new type of skinsuit for amateur and professional practice provides a broad applicability in cycling modalities: road (Fig. 12), time trial (Fig. 13), track (Fig. 14), mountain (Fig.15), cyclocross (Fig. 16) and consequently a higher commercial coverage of skinsuit. For each of the modalities the skinsuit variation ranges from not using a back pocket, combined with the use of breathable fabric on the sides (for time trial and track), the use of a back pocket (for cyclocross) and the use of the three rear pockets (for road and mountain).

3.3 Definition of Concept

The concept was developed to meet contemporary standards of apparel and cycling technology, elegantly combined. The product designed is a smart skinsuit (Fig. 17), which integrates ECG electrodes and a cardiac monitoring device, almost invisibly integrated, without compromising aesthetics. For this cycling garment a soft, elastic polyamide/elastane jersey fabric that provides some compression, was chosen, keeping the electrodes in contact with the body. The garment was designed without seams on the shoulders, since the position of the ECG device and its connections made it impossible to consider raglan type sleeves. The electrodes were placed near the front centre, below the chest, where the body shape is more uniform, for more effective contact with the body.

3 MATERIAIS E MÉTODOS *MATERIALS AND METHODS*

Fig. 17 © Medições do *Shinsuit* Inteligente / *Smart Shinsuit Measurements*



(a) comprimento do zíper (41cm)

zipper length

(b) 1/2 largura do peito (36cm)

1/2 chest width

(c) largura da cintura (21cm)

waist width

(d) comprimento dos ombros (14cm)

shoulder length

(e) abertura do pescoço (13cm)

neck opening

(f) profundidade do pescoço (6cm)

neck depth

(g) altura do colarinho (2cm)

collar height

(h) comprimento da manga (26cm)

sleeve length

(i) cava (16cm)

armhole

(j) abertura da manga (20cm)

sleeve opening

(k) subida do corpo (24cm)

body rise

(l) abertura da perna (32cm)

leg opening

(m) altura do elástico (5cm)

elastic band height

(n) comprimento de costas (74cm)

back length

(o) largura dos ombros (36cm)

shoulder width

(p) altura do bolso (17cm)

pocket height

O dispositivo para a monitorização frequência cardíaca BBB - Bluetooth 4.0 (Fig. 18) foi colocado na parte de trás, perto do colarinho, para que não interferisse com os movimentos do utilizador e foi proposta uma nova caixa para o dispositivo (Fig. 19).

The BBB - Bluetooth 4.0 heart rate monitoring device (Fig. 18) was placed in the back, near the collar, so as not to interfere with the user's movements, and a new box was proposed for the device (Fig. 19).

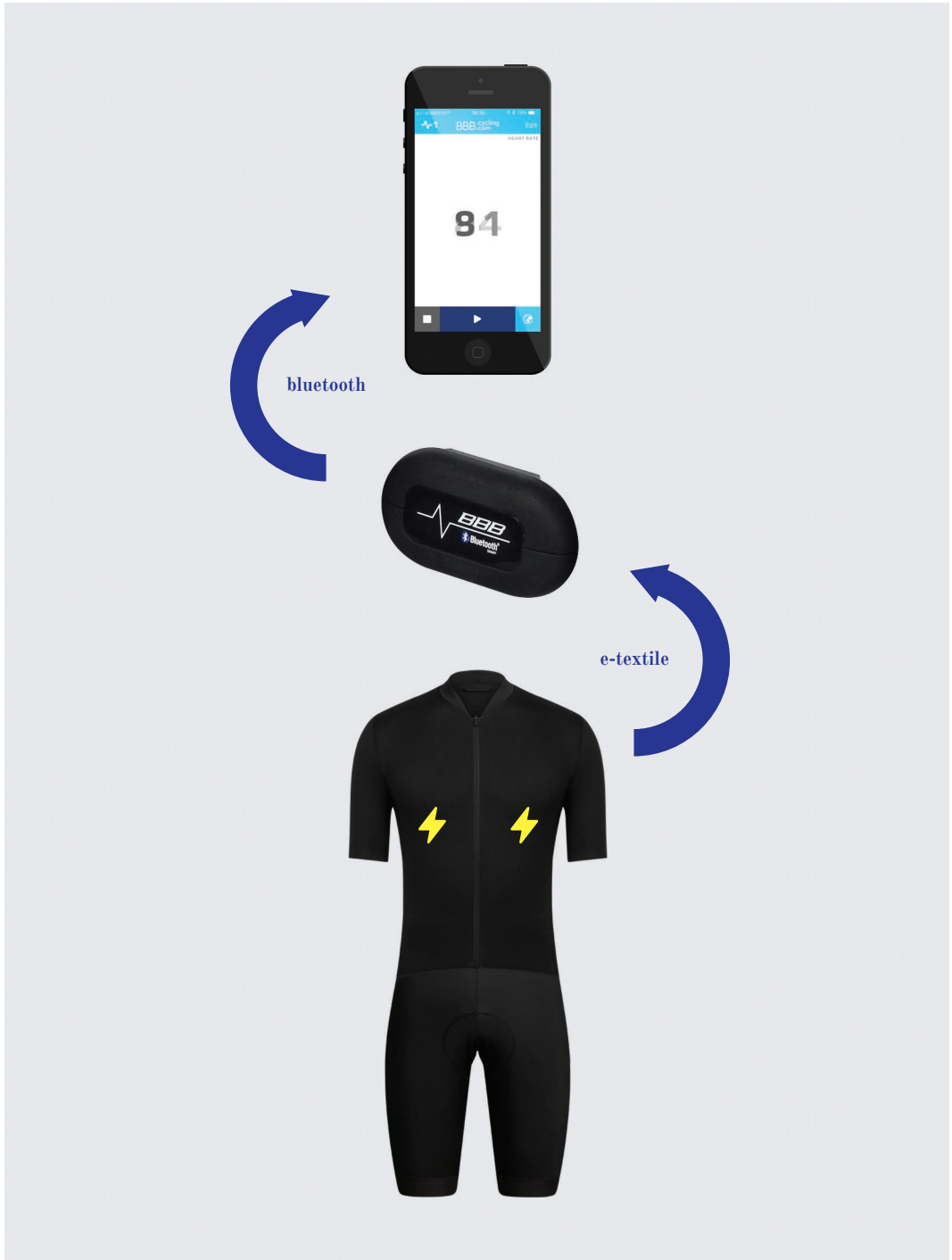


Fig. 18 © Dispositivo - BBB - Bluetooth 4.0 / Device - BBB - Bluetooth 4.0

Fig. 19 © Nova Caixa para Dispositivo / New Device Design



3.4 Escolha do e-têxtil

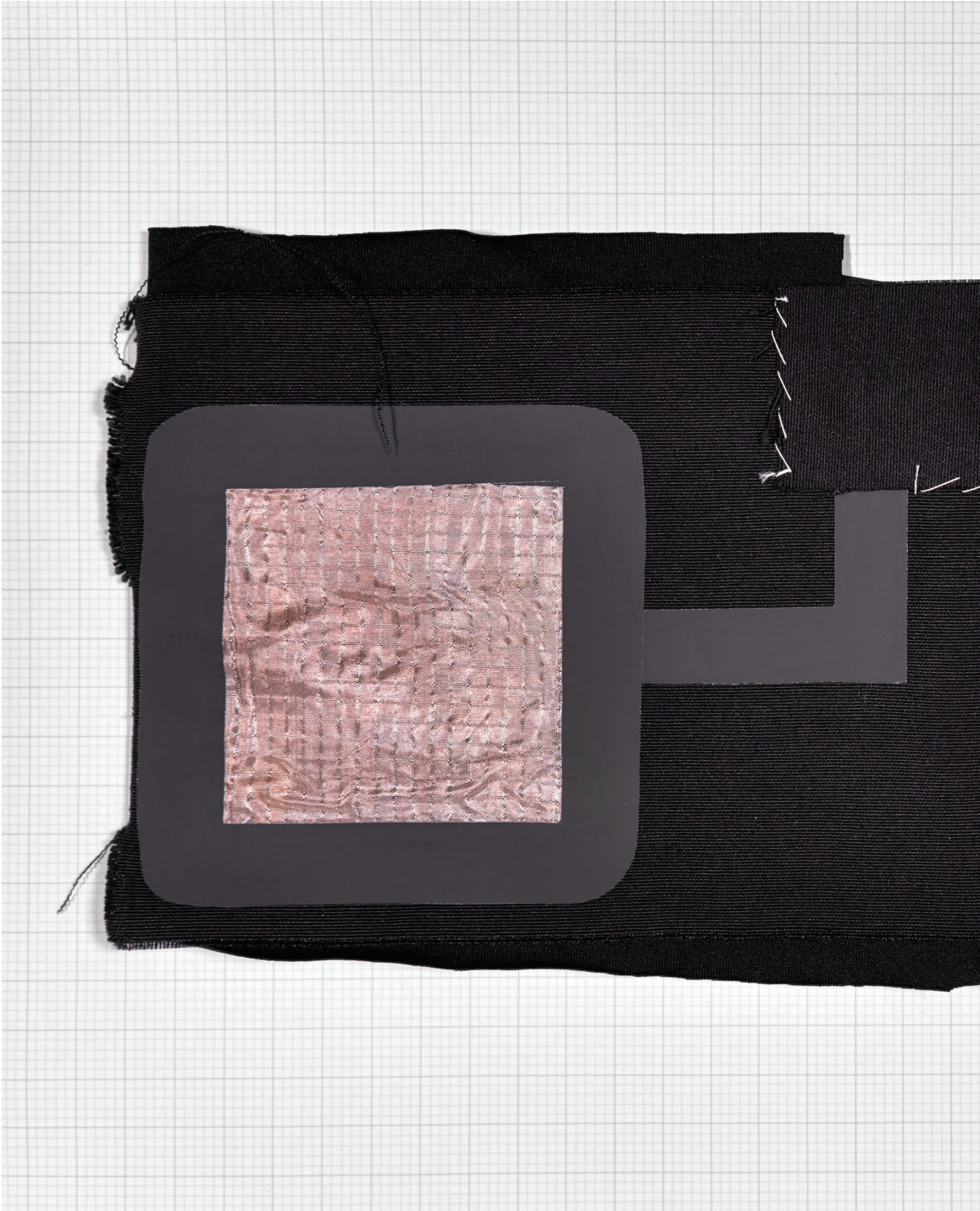
Antes de começar a construir os protótipos, vários materiais condutores, como: tecido (Statex Bremen), malha (Statex Silverell 1 e Medtex P-180), tinta condutora (Dupont PE828) e silicone condutor (ELASTOSIL® LR 3162 A/B), foram estudados e testados para verificar seu desempenho como elétrodos ECG. Para isso, foram produzidas bandas elásticas no tecido selecionado para a produção dos protótipos do *skinsuit* e foram embebidos elétrodos através da técnica mais apropriada para cada material. Foi utilizado poliuretano termoplástico (TPU) nas conexões e na borda dos elétrodos para isolar e fixar os elétrodos ao tecido, mantendo os elétrodos visíveis. Foram anexadas molas de pressão no final da conexão para ligar o dispositivo de monitorização ECG. Estas molas de pressão foram cobertas no interior por um pedaço de tecido, para que não entrem em contato direto com a pele. Na versão que utilizava tecido condutor (Fig. 20, 21 e 22) os tecidos são costurados na banda elástica e na versão tricotada (Fig. 23) o tecido condutor é fixado com adesivo. Nos elétrodos mostrados na Figura 22, uma esponja de 3mm foi colocada dentro do elétrodo para criar algum volume. O silicone condutor compreende dois componentes, misturados em uma proporção de 1:1. A mistura foi aplicada sobre o tecido de malha (Fig.24) e curada a 160°C, durante 10 minutos. Para a versão impressa (Fig. 25), a tinta foi aplicada com pincel e foi curada a 80°C por 20 minutos. As conexões foram isoladas com filme de TPU, exceto no caso do silicone, em que não foi necessário, já que o tecido usado para cobrir as molas de pressão também cobria o elétrodo de silicone condutor. Para a medição da frequência cardíaca, foi utilizado o aplicativo móvel BBB - Bikeboard, que fornece informações em tempo real sobre frequência cardíaca e parâmetros relacionados ao ciclismo (velocidade, distância, etc..).

3.4 E-textile Choice

Before starting to build prototypes, various conductive materials, such as: woven fabric (Statex Bremen), knitted fabric (Statex Silverell 1 and Medtex P-180), conductive ink (Dupont PE828) and conductive silicone (ELASTOSIL® LR 3162 A / B), were studied and tested to check their performance as ECG electrodes. For this purpose, elastic bands were produced using the selected fabric for the production of skinsuit prototypes, and electrodes were embedded using the most appropriate technique for each material. Thermoplastic polyurethane (TPU) was used in the connections and the edge of the electrodes to isolate and fix the electrodes to the fabric, keeping the electrodes visible. Snap fasteners were attached at the end of the connection to allow connection with the ECG monitoring device. These snaps were covered on the inside by a piece of cloth, so as not to enter in direct contact with the skin. In the version using conductive fabric (Fig. 20, 21 and 22), the materials were sewn in the elastic band, whilst in the knitted version (Fig. 23) the conductive fabric was fixed with adhesive. In the electrodes shown in Figure 22, a 3mm foam was placed inside the electrode to create some volume. The conductive silicone comprises two components, mixed in a 1:1 ratio. The blend was applied onto the knit (Fig. 24) and cured at 160°C for 10 minutes. For the printed version (Fig. 25), the paint was applied with a brush and cured at 80°C for 20 minutes. The connections were insulated with TPU film, except in the case of silicone, where it was not necessary, since the fabric used to cover the snaps also covered the conductive silicone electrode. For the measurement of heart rate, the mobile application BBB - Bikeboard was used, which provides real-time information on heart rate and parameters related to cycling (speed, distance, etc.).

3 MATERIAIS E MÉTODOS *MATERIALS AND METHODS*

Fig. 20 © Banda Elástica + Tecido Condutor / *Elastic Band + Conductive Fabric* (2017)



3 MATERIAIS E MÉTODOS *MATERIALS AND METHODS*

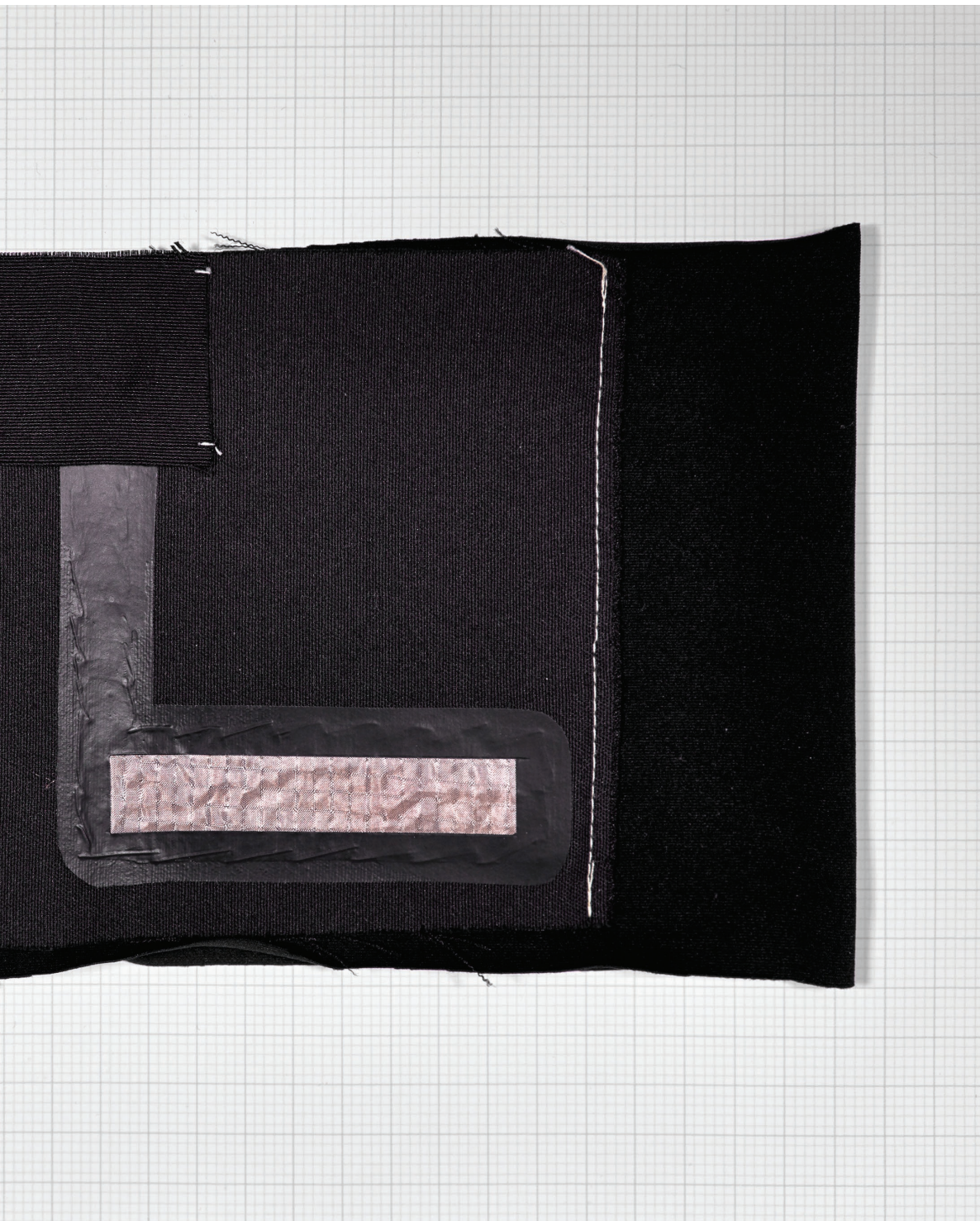
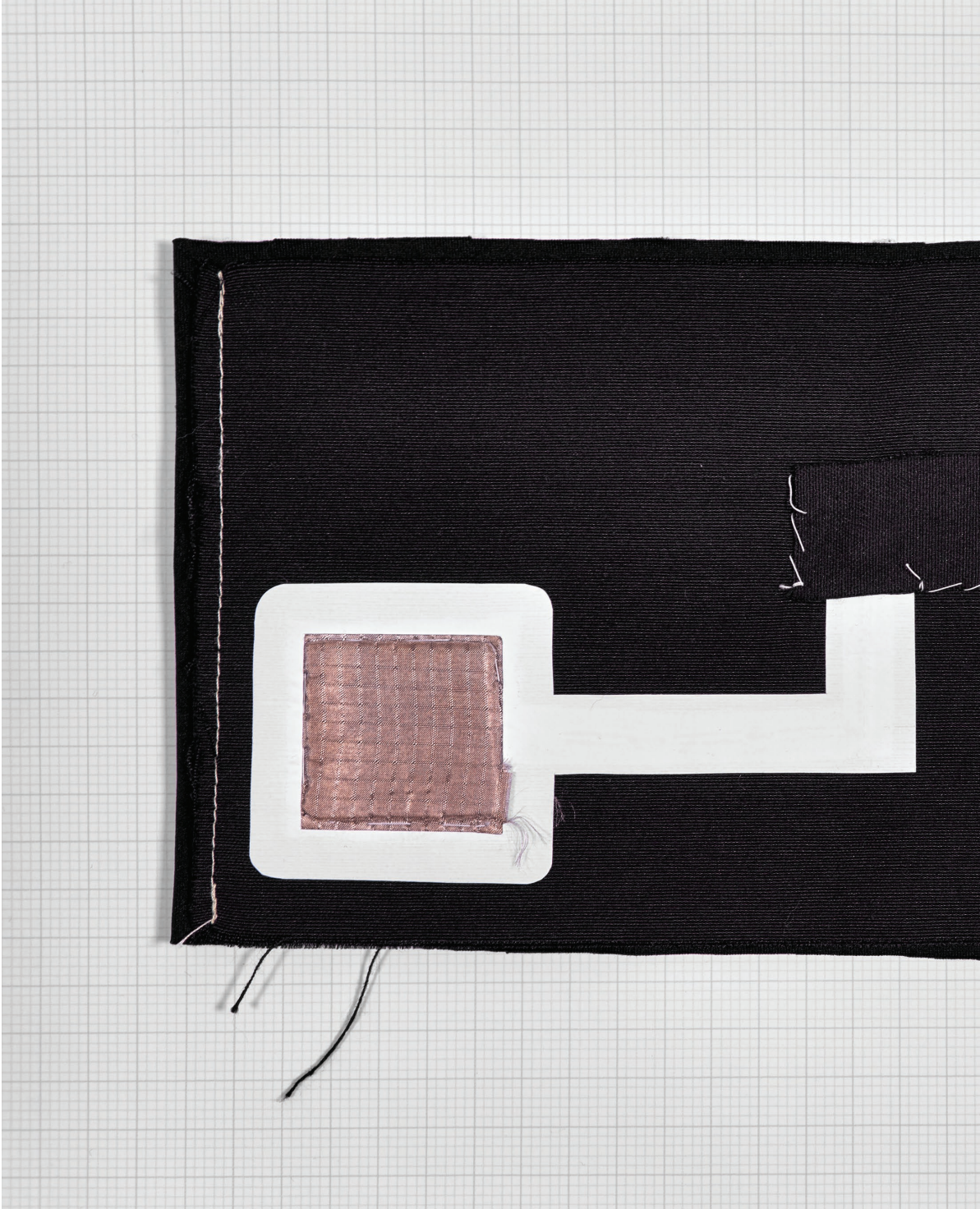


Fig. 21 © Banda Elástica + Tecido Condutor / Elastic Band + Conductive Fabric (2017)

3 MATERIAIS E MÉTODOS *MATERIALS AND METHODS*

Fig. 22 © Banda Elástica + Tecido Condutor com Esponja / *Elastic Band + Conductive Fabric with Sponge* (2017)



3 MATERIAIS E MÉTODOS *MATERIALS AND METHODS*

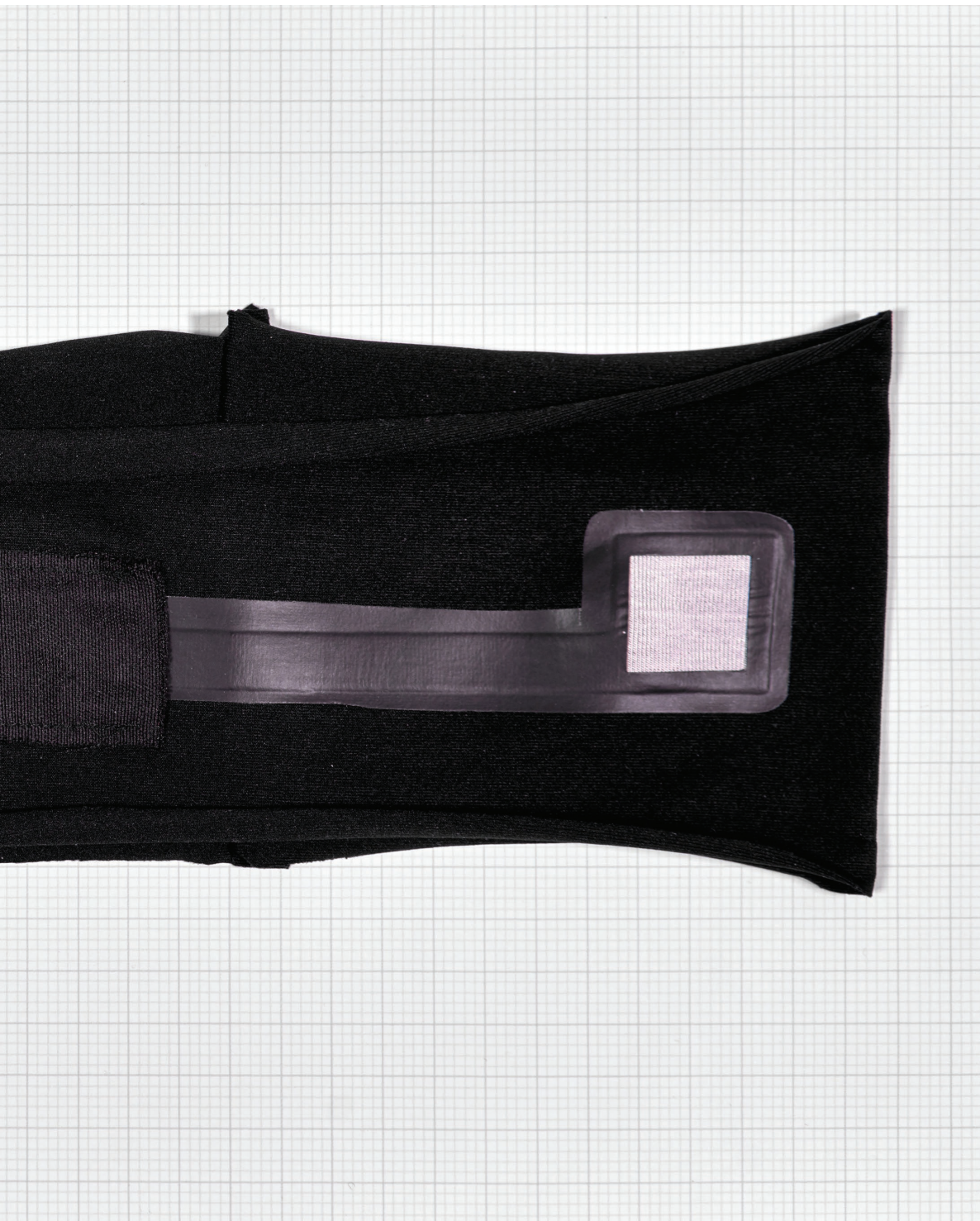
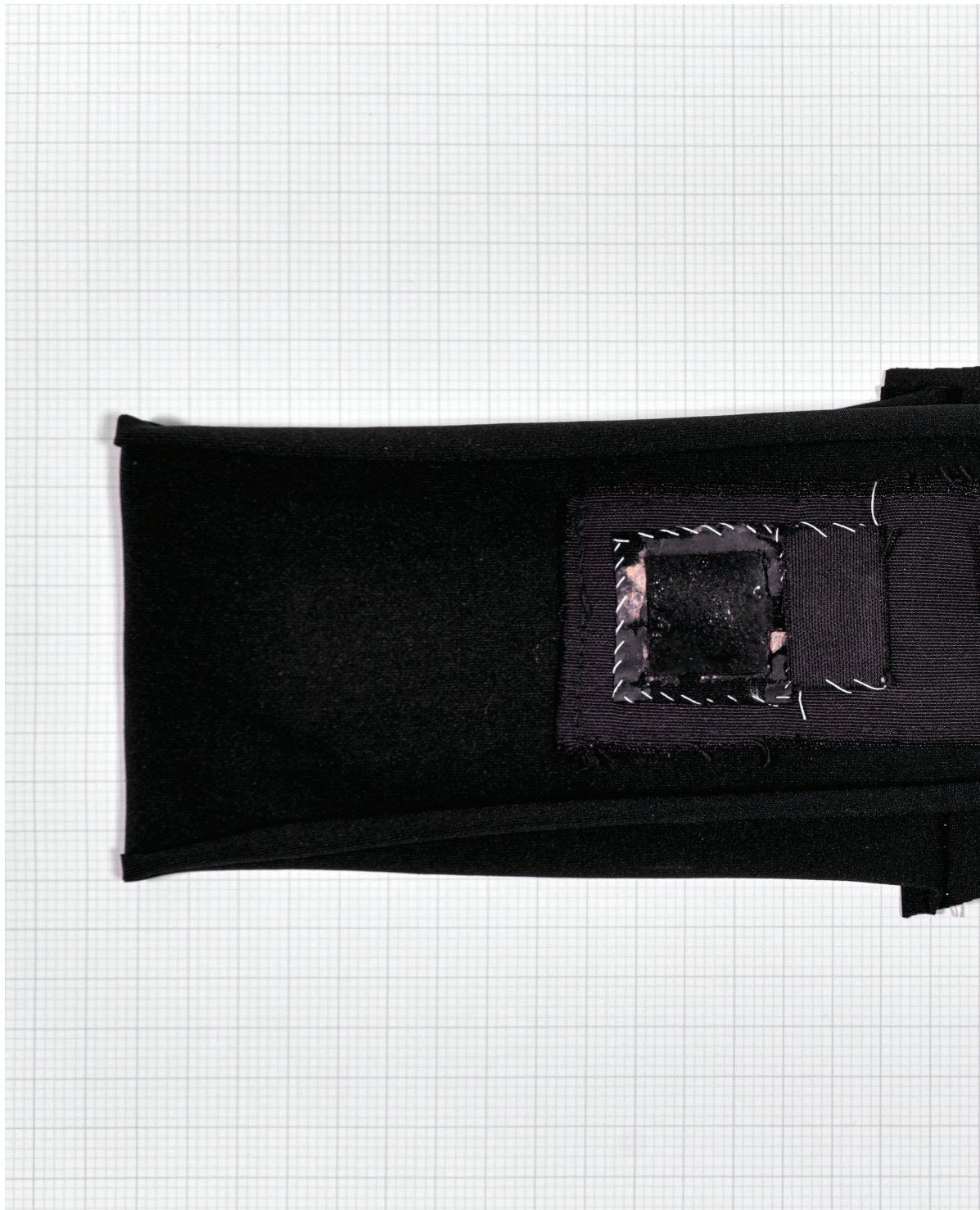


Fig. 23 © Banda Elástica + Malha Condutiva / Elastic Band + Conductive Mesh (2017)

3 MATERIAIS E MÉTODOS *MATERIALS AND METHODS*

Fig. 24 © Banda Elástica + Silicone Condutor / *Elastic Band + Conductive Silicone* (2017)



3 MATERIAIS E MÉTODOS *MATERIALS AND METHODS*

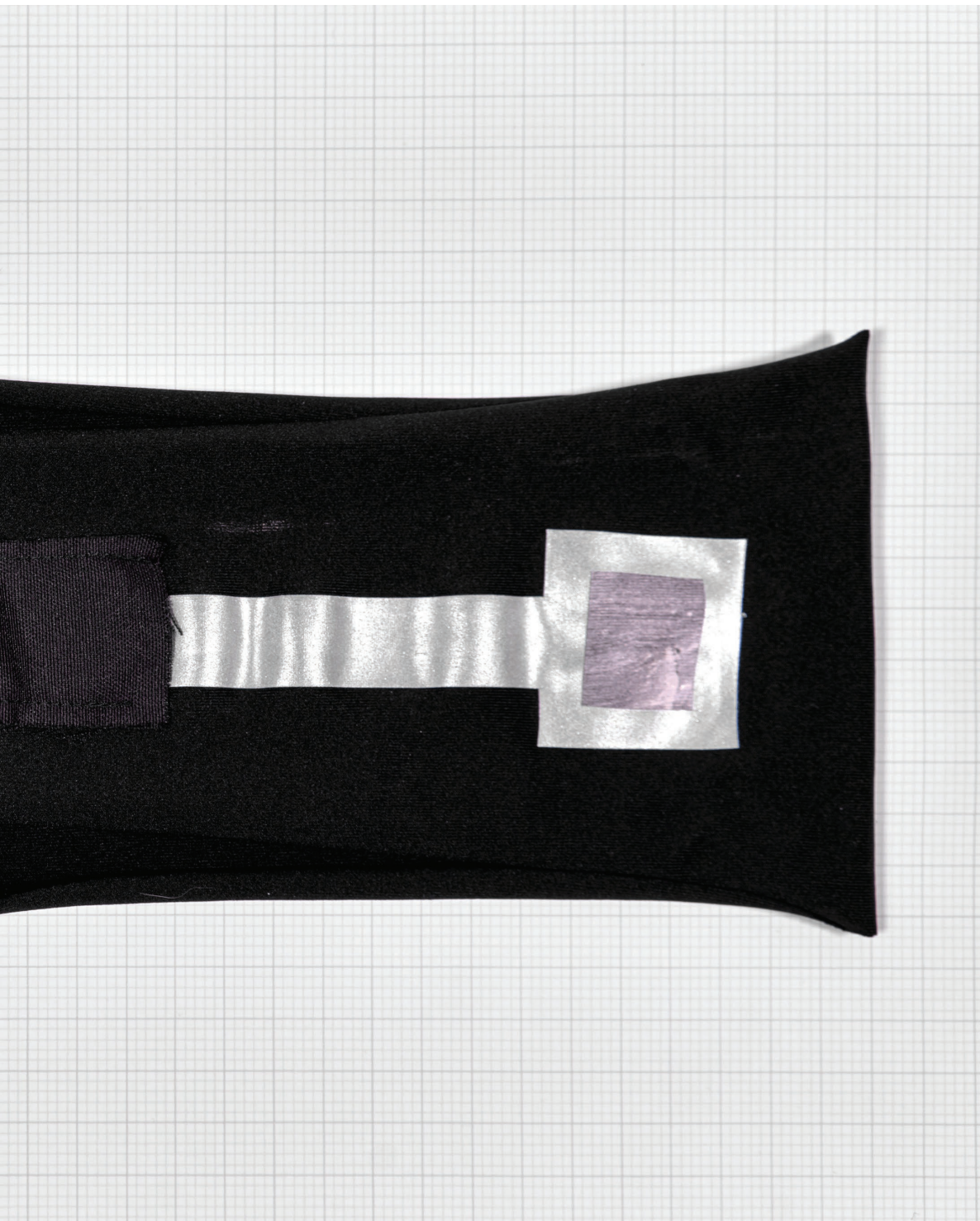


Fig. 25 © Banda Elástica + Tinta Condutora / *Elastic Band + Conductive Ink* (2017)

Fig. 26 © Protótipo Preliminar / Preliminary Prototype (2017)



3.5 Prototipagem

De acordo com a especificação do projeto, os protótipos foram preparados somente para o tamanho pequeno (S).

Um primeiro protótipo preliminar de medição foi construído para confirmar as medidas do tronco (Fig. 26). O mesmo protótipo serviu para definir as medidas do resto do corpo do *skinsuit*. Esta abordagem permitiu verificar se as medições estavam corretas sem construir a peça inteira. Foram desenvolvidos novos moldes de corte para costura (Fig. 27). Desta forma, foi produzido um segundo protótipo experimental (Fig. 28) e considerados todos os detalhes do mesmo, exceto a incorporação do e-têxtil.

3.5 Prototyping

According to the project specification, the prototypes were prepared only for the small size (S).

A first preliminary prototype of measurement was constructed to confirm the sizes of the trunk (Fig. 26). The same prototype served to define the measures of the rest of the skinsuit. This approach allowed verifying if measurements were correct without constructing the whole piece. New cutting patterns were developed (Fig. 27). In this way, a second experimental prototype was produced (Fig. 28) considering all the details except the incorporation of the e-textile.

3 MATERIAIS E MÉTODOS *MATERIALS AND METHODS*

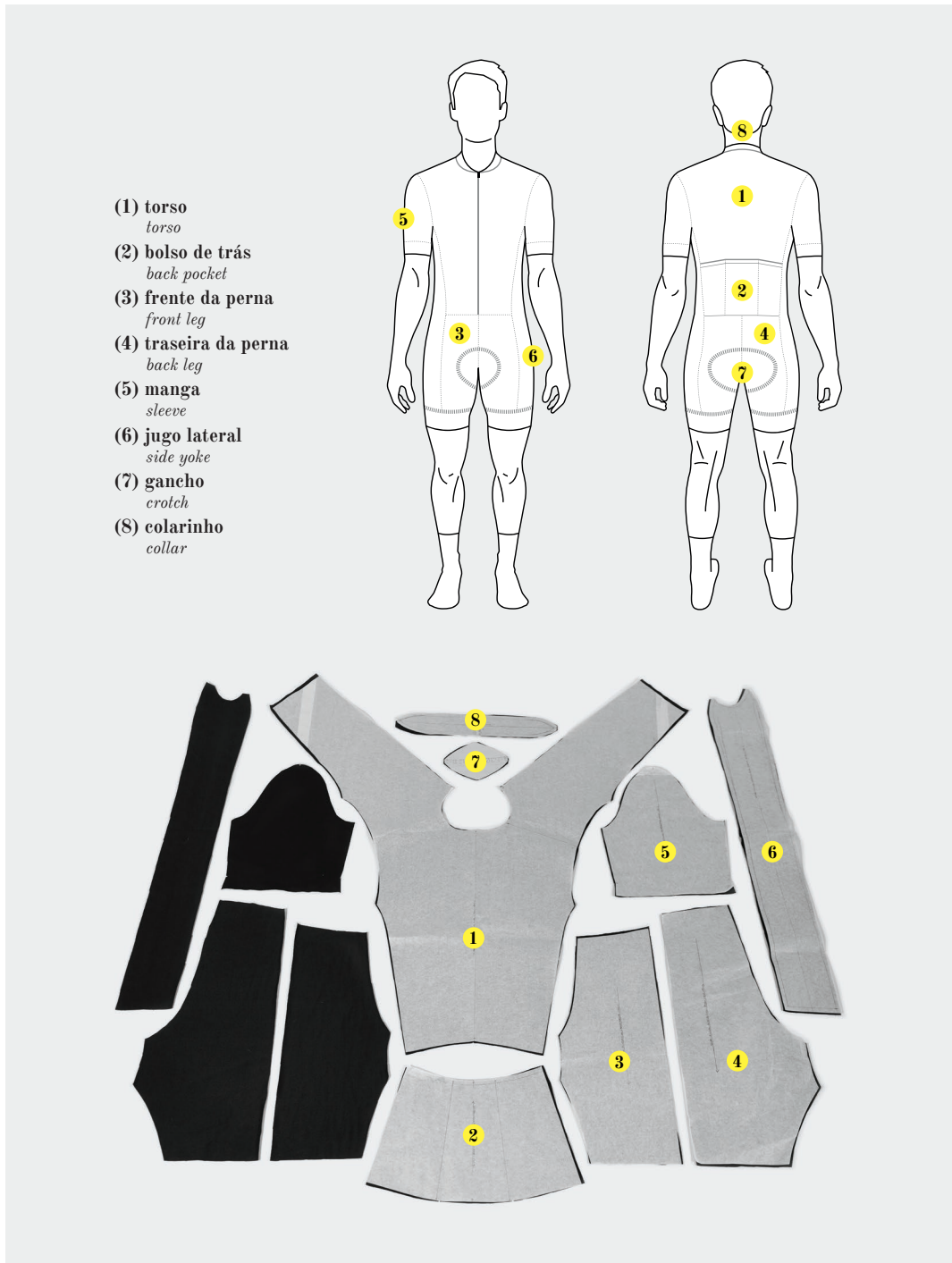


Fig. 27 © Moldes de Corte / *Patterns Cut* (2018)

3 MATERIAIS E MÉTODOS *MATERIALS AND METHODS*

HARDWARE

1 *BBB - Bluetooth 4.0*



ECG SENSORS

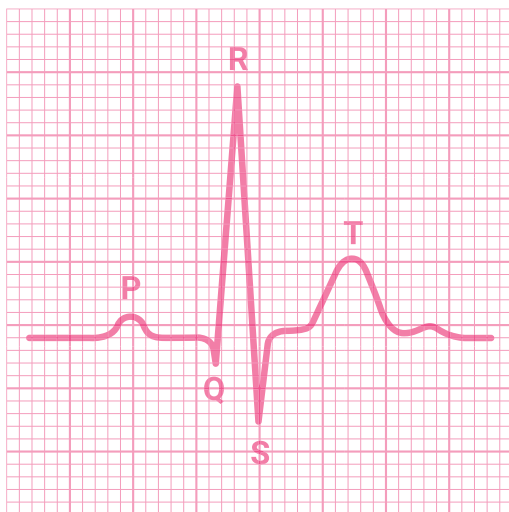
2 *Printed*

DESIGN

3 *Skinsuit*

Fig. 28 © Protótipo Experimental / *Experimental Prototype* (2018)

Fig. 29 © Forma de Onda ECG / ECG Waveform (2018)

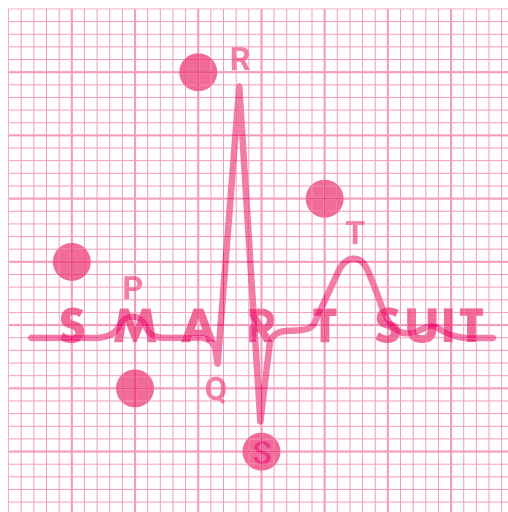


Um terceiro protótipo foi considerado a fim de acoplar os componentes desenvolvidos e testados anteriormente, mas também para verificar o funcionamento de conexões elétricas longas do e-têxtil e o encaixe do dispositivo BBB com o tecido. Ao imprimir o tecido fino com tinta condutora já se tinha constatado que a mesma se tornava visível no lado oposto. O problema foi resolvido através do design de uma estampa exterior em poliuretano termoplástico (Fig. 31 e 32).

Este facto foi aproveitado para desenvolver uma proposta de identidade que represente o projeto com um nome de *SMARTSUIT*. O logotipo surge da compreensão da representação da forma de onda do ECG e uma aproximação gráfica foi desenvolvida através da utilização de pontos inseridos numa grelha em concordância com o nome da marca (Fig. 29 e 30).

Após confeccionado o protótipo, foi realizada uma prova de usabilidade (wearability), seguida de uma sessão fotográfica de modo a obter imagens promocionais (Fig. 33, 34, 35, 36 e 37).

Fig. 30 © Esboço de Logotipo / Logotype Sketch (2018)

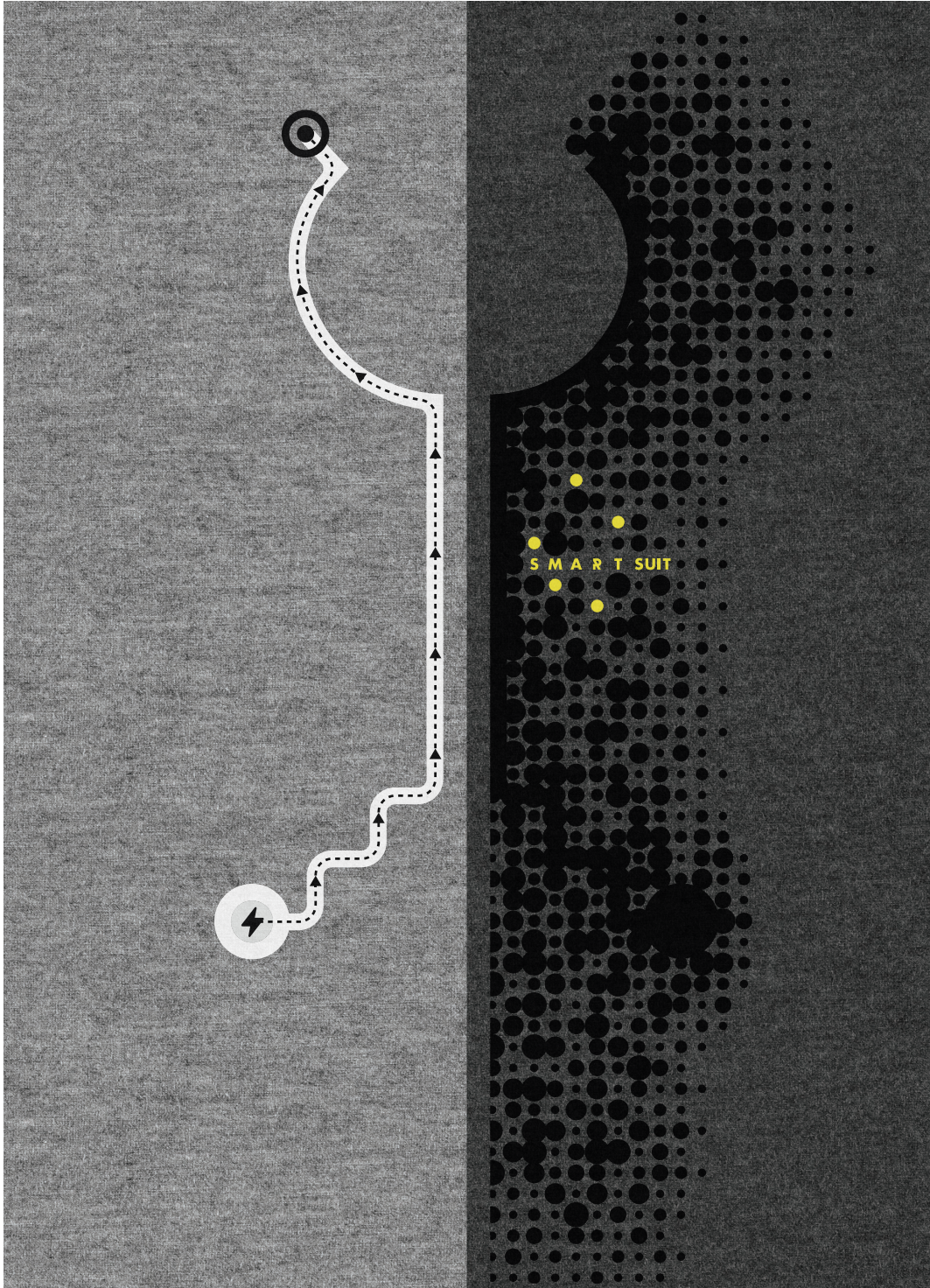


A third prototype was considered in order to couple the components developed and tested previously, but also to verify the behaviour of long electric e-textile connections and the fitting of the device BBB with the fabric. When printing the material with conductive ink, it had already been found that the ink was visible on the opposite side. The problem was solved by designing a thermoplastic polyurethane external pattern (Fig. 31 and 32).

This fact was used to develop a proposal of identity that represents the project with the name SMARTSUIT. The logo arises from the understanding of the ECG waveform representation, and a graphical approach by using points inserted in a grid following the brand name (Fig. 29 and 30).

After the prototype was finished, a usability (wearability) test was carried out, followed by a photographic session to obtain promotional images (Fig. 33, 34, 35, 36 and 37).

Fig. 31 © Eshoco / Sketch (2018)



3 MATERIAIS E MÉTODOS *MATERIALS AND METHODS*



Fig. 32 © Esboço / Sketch (2018)

3 MATERIAIS E MÉTODOS *MATERIALS AND METHODS*

Fig. 33 © Protótipo Final - Gráfico / Final Prototype - Graphic (2018)



3 MATERIAIS E MÉTODOS *MATERIALS AND METHODS*



Fig. 34 © Protótipo Final - Sensores / Final Prototype - Sensors (2018)

Fig. 35 © Protótipo Final / Final Prototype (2018)



3 MATERIAIS E MÉTODOS *MATERIALS AND METHODS*



Fig. 36 © Protótipo Final / Final Prototype (2018)

Fig. 37 © Protótipo Final - Dispositivo / *Final Prototype - Device (2018)*



4 O PRODUTO *THE PRODUCT*

Com todos os eléctrodos, exceto os condutores à base de silicone, o aplicativo móvel BBB - Bikeboard mostrou uma frequência cardíaca quando molhados. Com eléctrodos secos, apenas se consegue uma leitura quando existe pressão sobre os eléctrodos. Conclui-se que com eléctrodos húmidos se obtém uma resposta mais eficaz. Os eléctrodos confeccionados com tecido condutor (Statex Bremen) não possuem características de elasticidade satisfatórias. Já os eléctrodos de malha, impressos e revestidos a TPU, mostraram-se mais adequados para peças de roupa que se ajustam ao corpo dada a sua elasticidade. Esta última foi a abordagem seleccionada dado responder aos parâmetros pretendidos para a confecção do *skinsuit*.

A contrapartida dos eléctrodos impressos é o facto da malha absorver a tinta condutora, tornando-a visível no lado frontal do *skinsuit*. Para a resolução deste problema optou-se por desenvolver uma estampa em TPU à base de pontos e que confere ao produto um design único.

O *skinsuit* apresenta-se como um sistema capaz de fornecer informação em tempo real, que para além de monitorizar o ciclista poderá auxiliar a avaliação do desempenho do atleta.

With all electrodes except silicone-based conductors, the BBB - Bikeboard mobile application showed a heart rate when wet. With dry electrodes, a reading is only possible when there is pressure on the electrodes. It is concluded that with humid electrodes a more efficient response is obtained. The electrodes made with conductive fabric (Statex Bremen) do not have satisfactory elasticity characteristics, whereas the printed and TPU coated knitted electrodes have been found to be more suitable for garments that fit the body because of their elasticity. This last one was the approach selected since it responds to the parameters intended for the production of the skinsuit.

The setback of the printed electrodes is that the knit absorbs the conductive ink, making it visible on the front side of the skinsuit. In order to solve this problem, it was decided to develop a dot-based TPU printed pattern that gives the product a unique design.

The skinsuit presents itself as a system capable of providing information in real time, which in addition to monitoring the cyclist can help the assessment of the athlete's performance.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS *FINAL REMARKS*

O desenvolvimento de novos produtos, atraentes e funcionais, com e-têxteis pressupõe aptidões específicas e conhecimento especializado que vai além da esfera do design. Exige uma abordagem multidisciplinar e transdisciplinar, que englobe o design e a engenharia, a partir de abordagens inovadoras que alteram a forma como um produto é pensado e projetado.

Esse tipo de trabalho envolve especialização em design de moda e vestuário, bem como engenharia têxtil e eletrônica, exigindo uma estreita cooperação em equipa. As abordagens multidisciplinares que abrangem conhecimentos de engenharia são necessárias para que o designer explore e aplique novas tecnologias no desenvolvimento de sistemas inteligentes capazes de ampliar os limites humanos e criar novas experiências.

The development of new, attractive and functional products with e-textiles assumes the existence of specific skills and specialized knowledge that goes beyond the realm of design. It requires a multidisciplinary and transdisciplinary approach, encompassing design and engineering, from innovative approaches that alter the way a product is thought and designed.

This type of work involves specialization in fashion design and apparel, as well as textile and electronics engineering, requiring close team cooperation. Multidisciplinary approaches that encompass engineering expertise are necessary for the designer to explore and apply new technologies in the development of intelligent systems capable of expanding human boundaries and creating new experiences.

REFERÊNCIAS REFERENCES

- Berglin, L. (2013). *Smart Textiles and Wearable Technology – A study of smart textiles in fashion and clothing*. BalticFashion. Borås. Retrieved June 28, 2019, from https://www.hb.se/Global/HB-student/utbildningsområden/THS/BalticFashion_rapport_Smarttextiles.pdf
- Eves, D., Green, J., van Heerden, C., Marzano, S., & Traldi, L. (2000). *New Nomads: An Exploration of Wearable Electronics by Philips*. Rotterdam: 010 Publisher.
- Lymberis, A., & Paradiso, R. (2008). Smart fabrics and interactive textile enabling wearable personal applications: R&D state of the art and future challenges. In *2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (pp. 5270–5273). Vancouver, Canada: IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2008.4650403>
- Paiva A., Vieira D., Cunha J., Carvalho H., Providência B. (2019) Design of a Smart Garment for Cycling. In: Machado J., Soares F., Veiga G. (eds) *Innovation, Engineering and Entrepreneurship*. HELIX 2018. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 505. Springer, Cham https://doi.org/10.1007/978-3-319-91334-6_32
- Pallasmaa, J. (2009). *The eyes of the skin: Architecture and the senses*. John Wiley & Sons.
- Park, P., Mackenzie, K., & Jayaraman, S. (2002). The wearable motherboard: a framework for personalized mobile information processing (PMIP). In *Proceedings 2002 Design Automation Conference (IEEE Cat. No.02CH37324)* (pp. 170–174). New Orleans, USA: IEEE. <https://doi.org/10.1109/DAC.2002.1012614>
- Postolache, G., Carvalho, H., Catarino, A., & Postolache, O. A. (2017). *Smart Clothes for Rehabilitation Context: Technical and Technological Issues. Sensors for Everyday Life*. Guimarães, Portugal: Springer Publishing Company, Incorporated. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47319-2_10
- Schwarz, A., Van Langenhove, L., Guermonprez, P., & Deguillemont, D. (2010). A roadmap on smart textiles. *Textile Progress*, 42(2), 99–180. <https://doi.org/10.1080/00405160903465220>
- Van Langenhove, L. (2015). *Smart Textiles: Past, Present, and Future. Handbook of Smart Textiles*. Singapore: Springer Publishing Company, Incorporated. https://doi.org/10.1007/978-981-4451-45-1_15

Agradecimentos. Este livro foi desenvolvido no âmbito do projeto – *TSSiPRO - Technologies for Sustainable and Smart Innovative Products*, código da operação NORTE-01-0145-FEDER-000015, suportado pelo Programa Operacional Regional do Norte, nos termos do Aviso de Abertura de Candidatura n.º NORTE-45-2015-02 – Sistema de Apoio à Investigação Científica e Tecnológica – “Projetos Estruturados de I&D&I”, enquadrado na Unidade de Investigação IPC/i3N.

Acknowledgements. This book was developed under the project – TSSiPRO - Technologies for Sustainable and Smart Innovative Products, code of operation NORTE-01-0145-FEDER-000015, supported by the Regional Operational Program Norte, under the terms of Notice of Appointment No. NORTE-45-2015-02 – Support System for Scientific and Technological Research – “Structured Projects of I&D&I”, framed in the IPC/i3N Research Unit.



