

## Monitoramento de atividades de risco via dispositivo vestível na forma de um colete multisensoreado e microcontrolado

### *Risk activity monitoring via wearable device in form of a multi-sense and microcontrolled vest*

### *Monitoreo de actividades riesgosas a través de dispositivos portátiles en forma de chaleco multisensor y microcontrolado*

#### Resumo

Este artigo discorre sobre a pesquisa em desenvolvimento na área de engenharia aplicada no monitoramento de atividades que envolvam risco para a vida humana. O objetivo é desenvolver um tipo de uniforme capaz de informar ao usuário as condições em que ele se encontra, tentando alertar sobre perigos iminentes relacionados à atividade exercida. A tecnologia de sensores estará cada vez mais presente no dia a dia, principalmente em equipamentos, veículos, e também, em nossas roupas, chamada de tecnologia vestível. A pesquisa aqui apresentada é um protótipo do que virá a ser um uniforme amplamente sensoreado (multisensoreado), no qual chamamos de “uniforme consciente”, isso por ele monitorar as funções vitais e ambientais do usuário, bem como do local no qual se encontra. Este uniforme será projetado para ser configurado conforme as principais atividades desenvolvidas pelo usuário, podendo, inclusive, enviar sinais de comunicação voluntários e involuntários para uma estação base de monitoramento remoto. O uniforme protótipo será construído em um colete que inicialmente será vestido sobre um uniforme padrão. Aqui será apresentado o projeto deste colete consciente sensoreado, seus requisitos, recursos, configurações de controle e monitoramento remoto. A tecnologia aqui proposta tem como objetivo preservar a integridade física dos profissionais que utilizarem o dispositivo microcontrolado, provido de diversos sensores e fontes de energia recarregáveis, além de posicionamento global e sistema de telemetria remota. Este dispositivo inovador deve ser desenvolvido e testado em campo, antes ser comercializado no futuro próximo.

**Palavras-chave:** Sensores. Risco. Microcontroladores. Tecnologia Vestível.

#### Abstract

*This article discusses the research under development in the engineering area applied to monitoring activities that risk human life. The goal is to develop a type of uniform that can inform the user of conditions in which he is, trying to warn of imminent dangers related to the activity performed. Sensor technology will be increasingly present in everyday life mainly in equipment, vehicles, and even in our clothes, called wearable technology. The research presented here is a prototype of what will become a widely sensed (Multisensorized) uniform, which we call a “conscious uniform,” because it monitors the user’s vital and environmental functions, and where they are. This uniform will be designed to be configured according to the main activities performed by users and may even send voluntary and involuntary communication signals to a remote monitoring base station. The prototype uniform will be built into a vest that will initially be worn over a standard uniform. Here, we will present the design of this sensing-conscious vest, its requirements, features, and settings for remote monitoring and control. The technology proposed here aims to preserve the physical integrity of professionals using micro-controlled devices, provided with various sensors and rechargeable power sources, as well as global positioning and*

**Ricardo Reno Ribeiro**    
Universidade Federal de  
Itajubá, UNIFEI, Brasil,  
ricardo.reno@uol.com.br

**Rodrigo Ramos  
Oliveira**    
Universidade de Taubaté,  
UNITAU, Brasil.  
oliveira.rodrigoramos@  
gmail.com

**Filipe Wiltgen**    
Universidade de Taubaté,  
UNITAU, Brasil  
lfbwbarbosa@gmail.com

*remote telemetry system. This innovative device must be developed and field-tested before being marketed in the near future.*

**Keywords:** *Sensors. Risk. Microcontrollers. Wearable Technology.*

### **Resumen**

*Este trabajo discurre sobre la investigación en desarrollo en el área de ingeniería aplicada en el monitoreo de actividades que envuelvan riesgo para la vida humana. El objetivo es desarrollar un tipo de uniforme capaz de informar al usuario las condiciones en las que él se encuentra, intentando advertir sobre peligros inminentes relacionados con la actividad ejercida. La tecnología de sensores estará cada vez más presente en el cotidiano, principalmente en equipos, vehículos y, también, en nuestras ropas, llamada de tecnología vestible. La investigación acá presentada es un prototipo de lo que vendrá a ser un uniforme ampliamente senseado (multisenseado), lo cual llamamos de "uniforme consciente", esto porque él monitorea las funciones vitales y ambientales del usuario, y el local dónde se encuentra. Este uniforme será proyectado para ser configurado según las principales actividades desarrolladas por el usuario, incluso siendo capaz de enviar señales de comunicación voluntarios e involuntarios para una estación base de monitoreo remoto. El uniforme prototipo será construido en un chaleco que inicialmente será vestido sobre un uniforme estándar. Presentaremos acá el proyecto de este chaleco consciente senseado, sus requisitos, recursos, configuraciones de control y monitoreo remoto. La tecnología propuesta tiene el objetivo de preservar la integridad física de los profesionales que utilicen el dispositivo micro-controlado, provisto de diversos sensores y fuentes de energía recargables, además de posicionamiento global y sistema de telemetría remota. Este dispositivo innovador debe ser desarrollado y testado en campo, antes de ser comercializado en el futuro cercano.*

**Palabras clave:** *Sensores. Riesgo. Micro-controladores. Tecnología Vestible.*

## **1 Introdução**

É um fato corriqueiro e conhecido de todos os perigos e os possíveis acidentes em atividades humanas profissionais que envolvem riscos. A grande maioria destes profissionais que utilizam equipamentos de segurança passa por treinamentos e aperfeiçoamentos constantes. Entretanto, sabe-se que, mesmo assim, profissionais experientes e com ampla capacidade de atuar de forma exímia podem, em algum momento, falhar. Seres humanos ficam cansados, preocupados, desatentos (mesmo que por ínfimos instantes), e isso pode levar a erros e falhas catastróficas, para ele próprio e para outros. As notícias de catástrofes e desastres naturais mostram a vulnerabilidade de profissionais de resgate e atendimento a estas situações. Quantos profissionais qualificados são vítimas de seus descuidos durante suas atuações, na grande maioria das vezes sem grandes consequências, mas nem sempre é assim.

Para ajudar na atenção destes profissionais durante o exercício de suas atividades que podem colocar em risco sua vida e saúde, surgiu a ideia de desenvolver um dispositivo vestível que chamamos de "uniformes conscientes" ou uniformes multisenseados.

Um uniforme multisenseado é, na verdade, um dispositivo eletrônico vestível amplamente sensorizado (LEONOV e VULLERS, 2009; SUH *et al.*, 2010; WEINSWIG, 2016; HEIKENFELD *et al.*, 2018; FREITAS; LEVENE, 2006; KIPKEBUT e BUSIENEI, 2014; HUGHES-RILEY *et al.*, 2018; MARDONOVA e CHOI, 2018), que possui unidade de controle digital de baixo consumo, unidade de monitoramento remoto com posicionamento global e capacidade de armazenar energia elétrica em baterias, e, também, de manter e recarregar as mesmas com energia vinda de geradores fotovoltaicos (O'CONNOR *et al.*, 2016; JOKIC e MAGNO, 2017), geradores termoelétricos (WAN *et al.*, 2016; LIU *et al.*, 2017) ou geradores piezoelétrico (ZHAO e YOU, 2014; HONGRUI e JIANG, 2018).

Este dispositivo será capaz de informar, com base nos dados coletados de seus sensores, possíveis riscos intrínsecos à atividade executada, como detecção de um tipo de gás (tóxico ou inflamável), fumaça, mudança de temperatura (usuário ou do ambiente), mudanças climáticas, níveis de oxigenação do ar, nível de

radiação solar e luminosidade, chuva e umidade, localização global, orientação via bússola digital, inclinação, comunicação digital (*SMS* e *GPRS*) e de rádio frequência (*RF* convencional ou de longa distância *LoRa*). Os avisos podem ser realizados por alertas sonoros (tons contínuos cadenciados) ou voz digital (pré-programada para cada tipo de alerta). Este dispositivo vestível contará, também, com um pequeno painel digital (*display* de cristal líquido colorido gráfico) que informará os dados básicos ambientais e de direção (bússola digital), continuamente, e eventualmente o informe de aviso de alarmes importantes.

Desta forma, acredita-se que uma ampla gama de atividades de risco pode ser suprida pelo apoio deste dispositivo para ajudar a evitar possíveis ocorrências de acidentes com o usuário. Este dispositivo em desenvolvimento deve se tornar um produto a ser comercializado em um futuro próximo, tão logo todos os testes funcionais e de campo sejam executados em bom termo e seus resultados devidamente analisados.

## 2 Atividades que Envolvem Riscos

Sabe-se que os riscos em atividades profissionais são avaliados e classificados conforme sua natureza e o perigo, mesmo assim, os profissionais capacitados, por melhor que sejam, são muitas vezes traídos por sua natureza humana em algum momento. Pensando desta forma, a pesquisa aqui descrita apresenta um apoio tecnológico inovador, baseado no desenvolvimento atual de diversos tipos de sensores que podem ser instalados em um colete, utilizando um sistema microcontrolado, com diversos modos de comunicação, e alimentado por baterias recarregáveis através da geração de energia elétrica via diversas fontes renováveis e portáteis.

Dentre as atividades nas quais este dispositivo proposto pode auxiliar e ajudar a prevenir acidentes, tem-se estudado a aplicação tanto na área civil, como na área militar (RIBEIRO e WILTGEN, 2021A).

Na área civil este dispositivo deve ser útil para profissionais da defesa civil, equipes de resgate, bombeiros civis e florestais, policiais civis e federais, profissionais que trabalham em altura, em locais confinados ou submersos, áreas classificadas de risco, segurança patrimonial e pessoal, trabalhadores da construção civil, empresas de energia, telecomunicações, tubulações industriais, dentre diversas outras atividades. Na área militar (SISTO, 2014; RIBEIRO e WILTGEN, 2021A), o dispositivo deve ser empregado tanto em operações táticas como em treinamentos de forças armadas. Com algumas adaptações, o dispositivo pode ser empregado, também, para os bombeiros militares, policiais militares, equipes de resgate, equipes de busca e salvamento, guarda costeira e fluvial, além de patrulhamento em qualquer tipo de cenário.

Cada colete multisensoreado terá um conjunto mínimo de sensores para toda e qualquer aplicação de risco. Entretanto, este dispositivo pode e deve ter um conjunto extra de sensores dedicados e especializados a cada tipo de aplicação civil ou militar. Isso inclui diferentes tipos de programa de controle, bem como os diferentes tipos de alertas e dispositivos empregados no rastreamento de monitoração remota e telemetria.

## 3 O que são Tecnologias Vestíveis

Tecnologias vestíveis são dispositivos eletrônicos incorporados em vestimentas que visam aumentar a eficiência ou a segurança das pessoas ao desempenhar atividades profissionais com tecnologia eletrônica implementada ou incorporada.

As tecnologias vestíveis são roupas e acessórios que incorporam dispositivos computacionais e/ou tecnologia avançada para o registro ou processamento de dados relacionados ao usuário (KIPKEBUT e BUSIENEI, 2014). Um novo recurso de vestuário que pode prover interações reativas através de sinais de sensores, processando as informações e obtendo sinais de resposta dos sensores (SUH *et al.*, 2010).

Os dispositivos vestíveis conseguiram ocupar uma posição significativa no mercado de eletrônicos de consumo em pouco tempo, e são considerados um novo meio para atender às necessidades de muitos consumidores. Há muitos estudos em andamento com o objetivo de determinar como essas tecnologias podem ser adaptadas para diferentes contextos, permitindo constatar um elevado potencial de expansão para esta área (MARDONOVA e CHOI, 2018).

Parece ser um processo natural a tendência de incorporar a nossas roupas sistemas eletrônicos, até mesmo substituindo uniformes tradicionais, que quase sempre têm a função de identificação e estética de uma determinada empresa. A tecnologia vestível, baseada na utilização e apoio de sensores nos uniformes

irá transformá-los em um dispositivo que atua de forma autônoma em favor da segurança e eficiência dos funcionários nas organizações.

### 3.1 Histórico e Estado da Arte em Tecnologias Vestíveis

O desenvolvimento das tecnologias vestíveis pode ser dividido em quatro fases, desde 1980 até os dias atuais, como pode ser observado no Quadro 1 (SUH *et al.*, 2010).

**Quadro 1** - Fases de desenvolvimento das tecnologias vestíveis.

Primeira fase (de 1980 a 1997)	O conceito de tecnologia vestível é introduzido. O foco foi a computação portátil, com vestimentas fornecendo apenas um suporte para os dispositivos. Os resultados nesta fase não foram comercializáveis.
Segunda fase (de 1998 a 2001)	Setor têxtil e de moda acompanharam o desenvolvimento dos produtos. Isso pode ser observado na parceria entre a <i>Phillips Electronics</i> e a <i>Levi Strauss</i> , em 1999, para a produção da primeira roupa instrumentada, uma jaqueta que buscou incorporar um <i>MP3 player</i> e um celular conectado a um controle remoto com microfone embutido no colarinho. As aplicações passaram a ser mais vestíveis, mas os fabricantes ainda não podiam atender às exigências do mercado. A maioria dos resultados estava em um nível primitivo porque a tecnologia era subdesenvolvida.
Terceira fase (de 2002 a 2005)	A abordagem foi além da preocupação técnica e passou a ser mais centrada no usuário. A miniaturização dos dispositivos eletrônicos criou mais oportunidades para se garantir maior mobilidade e conforto, enquanto as funcionalidades técnicas continuaram a se expandir.
Quarta fase (de 2006 até os dias atuais)	As tecnologias vestíveis se aproximam da maturidade do mercado. Elas deixam de se limitar a gerenciar dispositivos pessoais que os usuários estão carregando. Anteriormente, o fluxo de informações era de usuários para o ambiente, mas atualmente isso se tornou uma via de mão dupla. A tecnologia vestível busca coletar, analisar e transformar informações do ambiente para atender o usuário.

**Fonte:** Adaptado de SUH *et al.*, 2010.

Uma tecnologia vestível deve ser analisada levando-se em consideração o projeto dos dispositivos empregados, o material do tecido, e, também, os fatores humanos envolvidos, como conforto e mobilidade. Neste contexto, houve também uma evolução do material empregado na confecção dos tecidos. A seguir, a seguinte linha do tempo para o desenvolvimento dos materiais têxteis nas tecnologias vestíveis (HUGHES-RILEY *et al.*, 2018):

- **1ª geração (a partir de 1910)** – circuitos eletrônicos adicionados ao vestuário: marcada pela redução do tamanho e do custo de componentes eletrônicos, bem como o aumento da complexidade da eletrônica de pequena escala, permitindo o início da integração com a tecnologia eletrônica;
- **2ª geração (a partir de 1990)** – e-têxteis: caracterizada por uma série de desenvolvimentos na ciência dos materiais, através da invenção do primeiro polímero condutor, do avanço da tecnologia de transistores, entre outros;
- **3ª geração (a partir de 2010)** – fios funcionais: marcada pelo aumento da integração dos eletrônicos ao tecido, através de aplicações como o encapsulamento de um dispositivo semicondutor dentro dos fios.

Quanto ao estado da arte das tecnologias vestíveis, pode-se classificar em: relógios inteligentes (*smartwatches*), óculos inteligentes (*smart eyewear*), rastreador de exercícios físicos (*fitness tracker*), roupas inteligentes (*smart clothing*), câmeras vestíveis (*wearable camera*) e dispositivos médicos vestíveis (*wearable medical device*).

As tecnologias vestíveis autoalimentadas, as que podem utilizar o calor do corpo humano e a luz ambiente como fontes de energia, apresentam formas de incorporar células fotovoltaicas nos dispositivos vestíveis, e, também, mecanismos de regulação térmica em humanos, de forma a tornar as tecnologias vestíveis mais sustentáveis, independentes e obtendo redução de custos de fabricação (LEONOV e VULLERS, 2009).

As tendências no desenvolvimento de tecnologias vestíveis se caracterizam pela união com o mercado de dispositivos médicos, de moda e atividades físicas. A saúde e a aptidão física estão se tornando sinônimos de bem-estar e qualidade de vida. A tendência é impulsionada pelos gigantes do setor de roupas esportivas e por grandes empresas de tecnologia de informação, que estão permitindo às pessoas medir, rastrear e analisar melhor suas atividades diárias (WEINSWIG, 2016; HEIKENFELD *et al.*, 2018; SVERTOKA *et al.*, 2020).

O cuidado com a segurança, a ergonomia e a eficiência das tarefas profissionais, através de dispositivos vestíveis, ajudam a evitar acidentes. Assim, esta pesquisa poderá proporcionar maior controle nas tarefas, além do apoio para salvar vidas e manter a segurança e eficiência operacional.

### **3.2 Dispositivos Vestíveis com Sensores**

Os sensores são recursos fundamentais para a criação de tecnologias vestíveis inteligentes, sendo os responsáveis por proporcionar a entrada de dados dos usuários para servirem de parâmetros de apoio. Os sensores encontrados nos dispositivos vestíveis são classificados em: sensores de ambiente, biossensores, sensores de rastreamento, sensores de posição e localização, entre outros tipos de sensores (MARDONOVA e CHOI, 2018).

Os sensores de ambiente são utilizados para medir, monitorar e registrar condições ambientais ou propriedades, como pressão, umidade relativa, luminosidade, temperatura, nível de água, velocidade do vento, entre outros.

Os biossensores são utilizados para o cuidado à saúde no diagnóstico precoce e prevenção de doenças, como no caso dos sensores de temperatura corporal, de frequência cardíaca, eletrocardiograma, eletroencefalograma, eletromiografia, sensores de pressão sanguínea e de nível de glicose.

Os sensores de rastreamento, de posição e de localização são o tipo mais comum em dispositivos vestíveis, encontrados em aplicações como *GPS*, altímetro, magnetômetro, bússola e acelerômetro.

Outros sensores e acessórios mais genéricos utilizados em tecnologias vestíveis são:

- Câmeras vestíveis e óculos inteligentes;
- Módulos de comunicação (*bluetooth*, identificação por rádio frequência, *Wi-Fi*, entre outros), que provêm a troca de dados entre os dispositivos;
- Sensores ultrassônicos, infravermelhos, entre outros.

Os sensores atuam enviando dados ao microcontrolador, o qual realizará o processamento e atuando de acordo com o que foi definido na programação. Após o processamento, é usual que aconteça a atuação de módulo de comunicação, para que a tecnologia vestível se comunique com uma central de monitoramento e gerenciamento.

O desenvolvimento de tecnologias móveis vestíveis tem algumas dificuldades inerentes ao desenvolvimento, tais como: desempenho limitado de processamento, memória disponível para armazenamento, duração da bateria, e a conectividade relativamente lenta com a internet. Sendo assim, o projeto considerará uma sequência de testes unitários e de integração na intenção de medir o desempenho da tecnologia em laboratório e em campo.

### **3.3 Microcontroladores de Pequeno Porte**

Um microcontrolador é um computador encapsulado em um único chip. Sua constituição interna favorece a eletrônica embarcada porque o circuito ocupa pouco espaço e é preparado para se conectar com periféricos de entrada e saída facilmente.

O circuito do uniforme multisensoreado (consciente) utilizará uma placa microcontroladora do tipo *Arduino*, mais especificamente o modelo *Arduino Mega 2560* que é uma plataforma eletrônica de código aberto fácil de utilizar. Sua placa de circuito eletrônico possibilita a gravação de programas no microcontrolador através de um circuito capaz de prover os recursos necessários para a gravação do *firmware*, além dos componentes para recepção das entradas e saídas, e a implementação da comunicação (RIBEIRO e WILTGEN, 2021A).

Esta plataforma utiliza uma linguagem de programação baseada no C++ e possui um ambiente de desenvolvimento integrado próprio. A mesma é baseada no microcontrolador *Atmega 2560*. Possui 54 entradas/saídas digitais (dos quais 15 podem ser utilizadas para saídas *PWM*), 16 entradas analógicas, quatro *UARTs* (portas seriais de *hardware*), um oscilador de cristal de 16 *MHz*, uma conexão *USB*, um conector de alimentação, um conector *ICSP*, e um botão de *Reset* (reinicialização) (RIBEIRO e WILTGEN, 2021b).

#### 4 Desenvolvimento de Colete Monitorado Via Sensores Microcontrolados

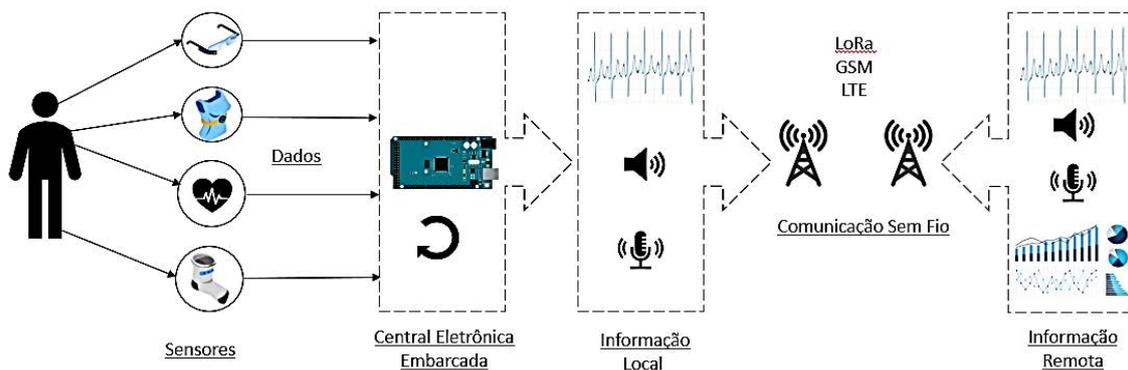
A pesquisa em adaptação de sensores em roupas e uniformes não é nova, mas foi há poucos anos que começaram a surgir sensores e microcontroladores desenvolvidos especificamente para isso. Neste desenvolvimento, a ideia é utilizar componentes tradicionais adaptados para serem condicionados a um colete, colados ou costurados de tal forma que permitam a construção e teste do primeiro protótipo funcional.

Dentre as questões importantes de serem definidas no projeto, o peso máximo do colete sem dúvida é fator determinante para a operacionalidade devido às baterias e todos os componentes, deve ser algo bem planejado, que exigirá uma lista de premissas e de requisitos os quais devem ser elaborados com muita clareza e propósito.

Nesta fase inicial, é necessário um esforço para planejar um conjunto amplo de sensores e de geradores de energia para dar apoio a uma boa autonomia, mas a intenção é chegar em dispositivos de baixo consumo para ter as baterias durando até 12 (doze) horas sem serem recarregadas da forma tradicional em uma tomada da rede elétrica alternada. Isto permitirá operações remotas de longa duração, essencial para quando a utilização do dispositivo estiver em campo e distante de fontes tradicionais de energia elétrica.

Mesmo com o esforço em ter autonomia de energia elétrica e fontes que possam auxiliar seu carregamento remotamente, todas as atividades que envolvem operação longe de centros urbanos necessitarão de um apoio com relação à autonomia elétrica para o funcionamento prolongado do dispositivo. Em casos desta natureza devem ser previstos a utilização de unidades de baterias extras. Como a utilização de baterias e microcontroladores produzem calor ao serem utilizados, existe a previsão da instalação de duas pequenas ventoinhas de refrigeração no bolso grande nas costas do colete (troca de calor). Este é o local no qual está designada a instalação das baterias e dos microcontroladores no colete. O excesso de calor prejudica o desempenho do microcontrolador e a vida útil das baterias. Na Figura 1 tem-se a representação genérica do dispositivo nesta pesquisa (RIBEIRO e WILTGEN, 2021a; RIBEIRO e WILTGEN, 2021b).

Figura 1: Representação genérica de dispositivos vestíveis.



Fonte: RIBEIRO e WILTGEN (2022).

##### 4.1 Premissas e Requisitos do Projeto

As premissas do projeto podem ser descritas conforme as necessidades básicas de um dispositivo de apoio humano que vai interagir durante as horas de trabalho, alertando o usuário sobre eventos os quais ele pode não se dar conta, devido a estar entretido e atento no serviço que está sendo executado e/ou devido à preocupação ou cansaço.

Dentre as premissas escolhidas para este desenvolvimento, tem-se:

- Construir um equipamento vestível, capaz de ser adaptado com circuitos eletrônicos com sensores;
- Ser autônomo com relação à energia elétrica durante o funcionamento;
- Utilizar um colete que possa ser vestido por um adulto na realização de testes e ensaios;
- Inserir no colete suportes especiais para alojar os sensores;
- Dispor os sensores de forma a não causar interferências entre eles;
- Utilizar baterias leves e de alta densidade para aumentar a autonomia de uso;
- Estudar a forma de conduzir os chicotes de sinais e energia elétrica de forma inteligente por dentro do colete;
- Desenvolver um *firmware* robusto e flexível quanto à escolha de estratégias diferentes para aumentar a autonomia das baterias;
- Instalar e testar sistemas de suporte de energia elétrica alternativa para recarga das baterias durante o período de utilização pelo usuário;
- Desenvolver uma estratégia de pré-teste dos sensores de forma automática na inicialização do sistema para saber se os valores estão dentro da faixa usual de medidas;
- Apresentar o funcionamento dos sensores na inicialização via o visor de monitoramento do sistema de controle;
- Mostrar ao usuário o tempo que resta das baterias via o visor de monitoramento continuamente;
- Construir alertas, e sinais de aviso para o usuário de forma clara e eficaz;
- Detectar se o usuário não estiver vestindo o colete e o sistema estiver ligado.

Dentre os requisitos básicos para este desenvolvimento, tem-se:

- Ser capaz de ser um equipamento vestível, confortável e leve;
- Ser capaz de possuir sensores, sistemas de comunicação, controle e energia elétrica;
- Ser capaz de dispor de uma forma de comunicação visual e audível;
- Ser capaz de possuir autonomia para até ~12 horas, via bateria ou outras formas geradoras de energia elétrica;
- Ser capaz de informar sua localização via sinais de rádio frequência, *GPRS* ou *SMS*;
- Ser capaz de enviar um sinal de emergência a cada 10 minutos com sua localização global;
- Ser capaz de enviar um sinal visível de infravermelho (*IR*) de emergência durante ~24 horas;
- Ser capaz de refrigerar o local das baterias e microcontroladores;
- Ser capaz de detectar gases e fumaça;
- Ser capaz de monitorar condições ambientais atmosféricas (pressão, temperatura, umidade e altitude);
- Ser capaz de, na escuridão, prover uma fonte de iluminação mínima;
- Ser capaz de monitorar a radiação luminosa;
- Ser capaz de monitorar a temperatura do usuário;
- Ser capaz de monitorar o batimento cardíaco do usuário;
- Ser capaz de monitorar objetos não visíveis via sinal ultrassônico;
- Ser capaz de monitorar a aceleração e inclinação do usuário;
- Ser capaz de monitorar eventos de chuva ou excesso de umidade, incluindo um dispositivo para alertar se a extremidade inferior do colete estiver em contato com água, ou outro líquido;
- Ser capaz de determinar e enviar a posição e sentido de deslocamento do usuário;
- Ser capaz de armazenar algumas imagens em baixa resolução *VGA* emergência (Caixa Preta), e também, enviar imagens em tempo real quando a bateria estiver em até 80% da carga;
- Ser capaz de funcionar plenamente funcional com todos os recursos disponíveis por pelo menos 8 (oito) horas sem a necessidade de recarregar as baterias com energia elétrica de *CA* (corrente alternada);
- Ser capaz de enviar um sinal visível de infravermelho (*IR*) de emergência (*SOS*) durante 24 horas quando acionado, limitando e/ou desabilitando todas as outras funções a menos do sinal de emergência de sua posição global, a menos que as condições de energia estejam críticas (inferior a 25%).

Assim, compreende-se que a “consciência do colete” na verdade é uma forma de tornar o uniforme como um assistente pessoal do usuário. Como o sistema de controle será capaz de informar o que ocorre ao redor do usuário, ele funcionará como um vigia, se preocupando com sinais ambientais e pessoais, enquanto o usuário se preocupa apenas com a execução das tarefas, deixando para o sistema de controle do uniforme o monitoramento de todas as outras informações (WILTGEN, 2020; WILTGEN, 2021).

#### **4.2 Sistema de Controle de Energia do Colete**

O sistema de controle e energia, como dito anteriormente, será baseado em um sistema microcontrolado baseado em duas unidades, do tipo *Arduino Mega*, responsáveis pelo gerenciamento dos sensores, atuadores, comunicação, alertas, e também o controle de carga e recarga das baterias.

Uma das unidades fica com todo o processamento de sensores e a estratégia de monitoramento e alertas de segurança para o usuário, a outra unidade é responsável pelo gerenciamento de carga e recarga das baterias, sistema de comunicação de dados e registro da câmera portátil.

O sistema de energia elétrica possui duas formas de recarga das baterias, sendo o sistema primário baseado em recarga direta por um conversor retificador interno via um cabo de ligação na rede de energia de CA (corrente alternada) em uma tomada.

A outra forma de recarga (sistema secundário) é via um pequeno gerenciador de carga que recebe energia elétrica em CC (corrente contínua) via os painéis solares fotovoltaicos (O’CONNOR *et al.*, 2016; JOKIC e MAGNO, 2017), e também os geradores termoelétricos do tipo *Seebeck (TEG)* (WAN *et al.*, 2016; LIU *et al.*, 2016).

A comunicação e alimentação elétrica interna do colete são realizadas por dois chicotes independentes com condutores elétricos flexíveis. Estes condutores estão dentro do colete, e interligam o sistema de controle até as posições dos sensores e fontes de energia elétrica. Todos os sensores possuem conectores rápidos que são interligados com conectores instalados nos chicotes para a realização das ligações de sinal e eletricidade.

As baterias que são duas, estão interligadas em paralelo, localizadas nos bolsos do colete na parte de trás, ligadas via conversor e gerenciador de carga aos sistemas de recarga primário e secundário, respectivamente.

O protótipo possui também um pequeno sistema de refrigeração por efeito Peltier (CHOI, 2018; "KISHORE *et al.*, 2018) para permitir o conforto do usuário quando a temperatura estiver desconfortável no uso do colete. Este sistema é controlado pelo microcontrolador dos sensores.

No bolso das baterias, assim como no bolso dos microcontroladores, existe em cada um deles um conjunto automático de duas ventoinhas de refrigeração. Uma retira o calor e a outra puxa ar frio para o interior dos bolsos para a troca de calor. A operação das ventoinhas é automática conforme os ajustes de temperatura máxima de operação.

O sistema de controle realiza a verificação da quantidade de carga das baterias para manter ou desligar sensores e sistema de comunicação a fim de prolongar a autonomia do sistema para sinais essenciais conforme a definição operacional do uniforme. Observa-se que este gerenciamento de energia elétrica para prolongar a autonomia de funcionamento do sistema é função da aplicação profissional no qual o uniforme faz parte.

Desta forma, a programação de autonomia pode ser modificada para cada tipo de aplicação em função da atividade profissional. Para os testes de laboratório, estas definições são mais rígidas e poucos serão os componentes do sistema desligados nos primeiros ensaios, e, desta forma, estratégias diferentes serão elaboradas a partir da análise do tempo de autonomia das baterias em teste.

Apenas o sistema de eco *RF* (emitindo SOS + última posição *GPS* registrada) e dos *leds*, tanto o *led* do tipo infravermelho quanto o *led* de luz visível de alta intensidade (ambos piscando SOS), que nunca são desligados, e permanecem em operação até o término de carga das baterias.

#### **4.3 Integração e Distribuição dos Sensores no Uniforme**

A princípio o colete deve dispor de vários tipos de sensores, além de sistemas de comunicação sem fio com transmissão de dados, voz e imagem, energia elétrica armazenada, geradores de energia elétrica, sistema de emergência (luzes e sinal *RF Morse*) e memória digital para coleta de dados.

Na Figura 2 é possível ver um arranjo simples de localização prévia dos sensores e outros dispositivos que irão compor o colete protótipo do primeiro colete multisensoreado (WILTGEN, 2020).

Estão previstos para o colete dois tipos chicotes de cabos, um para o fornecimento e distribuição de energia para todos os sensores, sistemas de comunicação e controle (chicote de energia), e outro com sinais de dados interligando todos os sensores ao sistema de controle (chicote de dados). A distribuição destes chicotes será por dentro do tecido que perfaz a parte interna do colete, de forma a não incomodar o usuário e mantendo a integridade física dos contatos eletroeletrônicos.

**Figura 2:** Distribuição dos sensores no colete protótipo de teste do colete multisensoreado.



Fonte: WILTGEN (2020).

Assim como pode ser visto na Figura 2, inicialmente o colete multisensoreado deverá ser confeccionado com os sensores descritos no Quadro 2.

**Quadro 2:** Tipos, funções e quantidade de sensores previstos para o protótipo do colete.

Tipo de Sensor	Quantidade	Função
Câmera VGA	01	Monitoramento em tempo real dos eventos
Temperatura	06	Medida de temperatura corpórea, baterias e microcontrolador
Gás CO	01	Detecção de Monóxido de Carbono
Gás GLP	01	Detecção de Gás Líquido de Petróleo
Fumaça	01	Detecção de fumaça
Cardíaco	01	Monitor cardíaco do usuário
Bússola digital	01	Localização geográfica e direção
Nível	01	Nível de líquidos para alagamento
GPS	01	Localização e posicionamento global
Microfone	02	Escutar o usuário
Chuva e umidade	01	Detecção de umidade ou chuva
Ultrassônico	01	Detecção de objetos não visíveis
Temperatura, pressão e umidade atmosférica e altitude	01	Monitoramento das condições climáticas e altitude
Luminosidade	01	Presença de luz e claridade
Acelerômetro e giroscópio	01	Medidas de velocidade posição angular e orientação
Inclinômetro	01	Inclinação do usuário em relação ao solo

Fonte: Próprios Autores (2019).

Além dos sensores, este colete conta ainda com sistemas de geração de energia fotovoltaica, e termoelétrica do tipo *Seebeck* para o armazenamento em baterias de longa duração recarregáveis e compactas. Também possui sistemas de comunicação (descritos na seção 4.4), iluminação ambiente de *LED*, monitor *OLED*, alto-falantes e sistema de refrigeração por efeito *Peltier*.

#### **4.4 Comunicação do Uniforme com Base de Monitoramento, Mapeamento e Localização**

O dispositivo integrado ao colete multisensoreado conta com um sistema de múltiplos módulos de comunicação sem fio (*GPRS*, *SMS*, *RF-433 MHz*, *LoRa-1,4 GHz*, *Bluetooth*, *Wi-Fi* (módulo do tipo *ESP*).

O sistema de comunicação do tipo *LoRa (Long Range)* é baseado na técnica de modulação por espalhamento espectral. Estes tipos de dispositivos *LoRa* utilizam a tecnologia de rádio frequência sem fio (*RF Wireless*). É implementado em um *CI* sem fio de longo alcance e com baixo consumo de energia elétrica. O *LoRa* atualmente é um protocolo de comunicação sem fio de longo alcance que pode chegar facilmente a 10km de distância.

Outro sistema de comunicação presente é o *GPRS* com *SMS*, capaz de enviar mensagens de texto via telefonia celular, através de um chip de operadora de telefonia. O colete possui, também, o sistema de *RF* de emergência em 433 *MHz* para envio de sinal de localização *GPS* e/ou código *Morse*.

Quando o colete operar dentro da região de sinal *Wi-Fi*, ele é capaz de se comunicar utilizando o módulo *ESP* e/ou com dispositivos móveis tanto via *Wi-Fi* quanto via *Bluetooth*.

Sinais sem fio do colete multisensoreado serão interpretados remotamente via um sistema de monitoramento e mapeamento do tipo Base de Operação, capaz de identificar cada usuário, seus sinais vitais e os sinais ambientes presentes em cada unidade.

A Base de Operação receberá, de cada colete e seu usuário, áudio, vídeo e posição *GPS* em tempo real, além de poder se comunicar em texto e voz com o usuário do colete quando necessário. O colete possui alto-falantes para sinais de alerta que podem transmitir também mensagens de voz curtas vindas da Base de Operação e texto no monitor *OLED* fixado ao colete e que mostra continuamente as medidas dos sensores.

A localização *GPS*, se interrompida no modo contínuo, será recebida em posição de latitude e longitude vindas na forma de texto pelo sinal de *RF 433 MHz*.

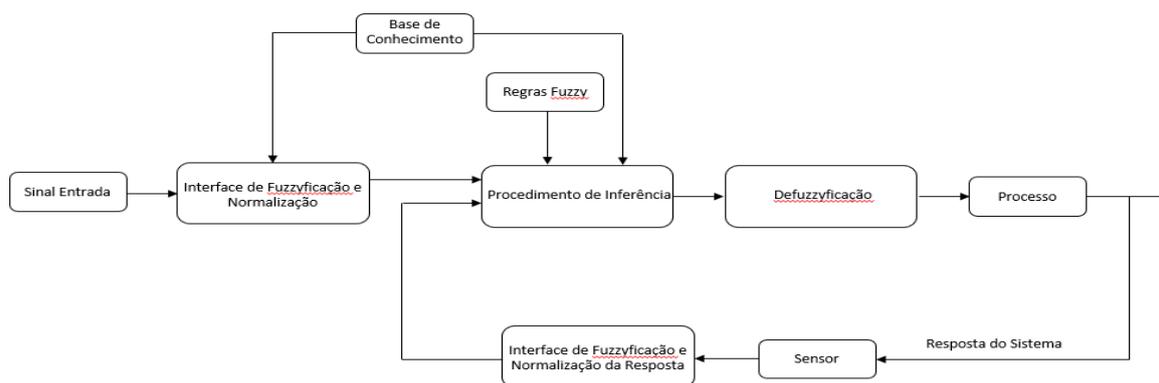
### **5 Sistema de Controle Nebuloso do Colete**

Em sistemas de controle clássico é necessário descrever, matematicamente, todas as relações entre as variáveis de entrada e de saída de maneira a ter uma função de transferência característica que possa descrever o sistema físico, permitindo, assim, realizar o modelamento de controle de forma precisa. Em sistemas de controle nebulosos, o modelamento é baseado em conhecimento heurístico, possibilitando, desta forma, sua utilização em dinâmicas de controle não linear e sem uma função de transferência matemática bem definida (NASCIMENTO JR. e YONEYAMA, 2020; RIBEIRO e WILTGEN, 2021A).

Os controladores nebulosos são baseados em regras estabelecidas pelo conhecimento baseado em experiência humana. A lógica das variáveis é definida por uma série de regras definidas no contexto (*SE-ENTÃO*), e todos os parâmetros utilizados no controlador nebuloso são definidos em conjuntos e funções de pertinência.

No projeto de um controlador nebuloso é esperado que o sistema a ser controlado tenha características observáveis e controláveis, que haja conhecimento por parte do projetista das possíveis reações do sistema mediante as determinadas entradas e regras bem estabelecidas, ou seja, que possa existir uma resposta adequada e razoável para cada entrada estabelecida. O sistema deve permitir regras de estabilidade em um espaço aceitável para a precisão da resposta. Na Figura 3 observa-se a estrutura de um controlador nebuloso.

**Figura 3:** Representação de um Controlador Nebuloso.



Estrutura Básica de um Controlador Fuzzy

**Fonte:** RIBEIRO e WILTGEN (2022).

O controlador nebuloso é uma malha fechada normalizada para estabelecer os valores das entradas e das saídas em um escalonamento dentro do universo de discurso, tornando-os, assim, nebulosos.

O controlador, aplicado ao colete sensorizado para o gerenciamento de energia, utiliza como variáveis de entrada a tensão elétrica da bateria de alimentação do sistema e a corrente elétrica consumida pelos grupos sensores e pelo sistema de comunicação sem fio para as diversas necessidades de aplicação em campo.

O objetivo é ser capaz de informar em tempo real, via um painel, o nível de carga da bateria e a sua provável autonomia operacional. Desta forma, auxilia-se o usuário do colete à decisão, em horas de disponibilidade de uso do equipamento, mediante os diversos cenários envolvidos em diversos tipos de operações.

## 6 Discussão e Perspectivas

Qualquer tecnologia nova que faz uso de sistemas eletrônicos precisa de um planejamento robusto de ensaios, tanto para os testes de desenvolvimento em laboratório (*DT&E - Developmental Test and Evaluation*) quanto para os testes operacionais em campo (*OT&E – Operational Test and Evaluation*). Neste desenvolvimento é previsto um longo programa de ensaios individuais e de integração em laboratório e em campo.

Existe, ainda, os testes com os usuários em campo, cujo fator humano deverá ser parte integrante do domínio da solução e que possui alta incerteza. Além de todos os percalços existentes referentes aos testes em campo, a utilização e operação confiável do sistema eletrônico embarcado em um uniforme nunca podem ser considerados algo trivial.

Assim, para que o usuário tenha confiança nas indicações do uniforme, será necessário que o sistema possua redundância e eficácia na informação. Alertas falsos, assim como a falta de alertas, leva a desconfiança no sistema e isso pode tornar inútil o propósito do “colete consciente”. Exaurir todos os possíveis problemas de conexão, alimentação elétrica e de sinais, e claro de decisão do sistema sensoreado, possibilitará diminuir a incerteza operacional do sistema, e, assim, aumentar a confiabilidade e a credibilidade do sistema em operação.

A tecnologia atualmente disponível permitirá alcançar o desenvolvimento com altos níveis de maturidade tecnológica (*TRL - Technology Readiness Level*), porém os avanços em uniformes com mais sensores, mais versáteis, com maior autonomia, maior poder computacional de processamento e de comunicação serão, sem dúvida, importantes para tornar a operação e utilização destes uniformes mais confiáveis. Assim, na Figura 4 pode ser vista a distribuição de alguns sensores integrados ao colete para os testes em ambiente controlado (*DT&E*).

O desenvolvimento do colete sensorizado executou a fase de teste individuais (*FTI – Fase de Testes Individuais*) e atualmente está na fase de testes coletivos integrados (*FTC – Fase de Testes Coletivos*) em ambiente controlado (*DT&E*), em laboratório.

Figura 4: Protótipo do Colete em fase final de montagens e teste FTI e i.



Fonte: RIBEIRO e WILTGEN (2022).

Uma rotina de testes de desenvolvimento estabelecida para cada componente sensor do colete permite que os resultados, individuais, possam ser comparados com as curvas estabelecidas pelo fabricante referente aos parâmetros de aprovação para cada componente (WILTGEN, 2020; WILTGEN, 2021).

A proposta de um controlador nebuloso para a gestão de recursos energéticos do colete sensorizado apresentou resultados importantes para a escolha do tipo de controlador a ser agregado no *firmware* em programação estruturada na placa do *Arduino Mega* principal de controle.

Espera-se, em breve, que o primeiro protótipo físico real do dispositivo eletrônico vestível esteja pronto para testes em ambiente controlado com todos os recursos implementados.

Em um breve futuro é possível que dispositivos similares possam integrar as forças militares e civis na realização segura de tarefas operacionais que envolvem riscos, auxiliando e fornecendo subsídios aos usuários para tomadas de decisões eficazes e importantes durante a execução destas tarefas em campo.

O desenvolvimento da área de eletrônica embarcada, assim como de tecnologias vestíveis, trará enorme impacto na economia mundial e na indústria moderna que faz uso da manufatura avançada, quer seja como a usuária final dos uniformes quer seja como a fornecedora desta tecnologia.

## Referências

CHEN, S.T. *et al.* Design and Development of a Wearable Device for Heat Stroke Detection. **Sensors**, Basel, v.18, n. 01, p. 10-11, Jan. 2018. DOI: 10.3390/s18010017. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5796472/>. Acesso em: 07 nov. 2022.

CHOI, J. *et al.* Weaving a New World: Wearable Thermoelectric Textiles. **Current Trends in Fashion Technology & Textile Engineering**, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 23-25, Jan. 2018. DOI: 10.19080/CTFTE.2018.02.555583. Disponível em: <https://juniperpublishers.com/ctfte/pdf/CTFTE.MS.ID.555583.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2022.

FREITAS, S.; LEVENE, M. Wearable and mobile devices. In: GHAOUI, C. (ed.). **Encyclopedia of Human Computer Interaction**. Hershey, PA, USA: IGI Global, 2006. Cap. 82, p. 706-712. *E-book*. DOI: 10.4018/978-1-59140-562-7.ch106. Disponível em: <https://www.igi-global.com/chapter/wearable-mobile-devices/13197>. Acesso em: 07 nov. 2022.

- HEIKENFELD, J. *et al.* Wearable Sensors: Modalities, Challenges, and Prospects. **Lab on a Chip**, [S.l.], v. 18, n. 2, p. 217-248, 2018. DOI: 10.1039/C7LC00914C. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/lc/c7lc00914c>. Acesso em: 07 de nov. 2022.
- HONGRUI, S.G.; JIANG, H. Development of Wearable Equipment and Piezoelectric Vibration Energy Harvest Devices. **ICMSE 2018 - IOP Conf. Series Materials Science and Engineering**, [S.l.], v. 397, n. 1, p. 012080, 2018. DOI: 10.1088/1757-899X/397/1/012080. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/397/1/012080/pdf>. Acesso em: 07 nov. 2022.
- HUGHES-RILEY, T.; DIAS, T.; CORK, C. A. Historical Review of the Development of Electronic Textiles. **Fibers**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 34, 2018. DOI: 10.3390/fib6020034. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-6439/6/2/34>. Acesso em: 07 nov. 2022.
- JOKIC, P.; MAGNO, M. Powering Smart Wearable Systems with Flexible Solar Energy Harvesting. *In*: 2017 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS (ISCAS), 2017, Baltimore, USA. **Anais [...]**. Baltimore, USA: IEEE, 2017. E-ISBN: 978-1-4673-6853-7. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8050615>. Acesso em: 07 nov. 2022.
- KIPKEBUT, A.; BUSIENEI, J. Evaluation of Ubiquitous Mobile Computing and Quality of Life in Wearable Technology. **IJSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology**, [S.l.], v. 1, n. 3, p. 68-79, May 2014. ISSN 2348 - 7968. Disponível em: [https://www.ijset.com/v1s3/IJSET\\_V1\\_I3\\_12.pdf](https://www.ijset.com/v1s3/IJSET_V1_I3_12.pdf). Acesso em: 07 nov. 2022.
- KISHORE, R. A. *et al.* Ultra-High Performance Wearable Thermoelectric Coolers with Less Materials. **Nat 9 - Commun.**, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 1765, 16 Apr. 2019. DOI: 10.1038/s41467-019-09707-8. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-019-09707-8>. Acesso em: 07 nov. 2022.
- LEONOV, V.; VULLERS, R. Wearable Electronics Self-Powered by Using Human Body Heat: The State of the Art and the Perspective. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, [S.l.], v. 1, n. 06, p. 062701, 2009. DOI: 10.1063/1.3255465. Disponível em: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.3255465?feed=most-cited>. Acesso em: 07 nov. 2022.
- LIU, H. *et al.* Design of a Wearable Thermoelectric Generator for Harvesting Human Body Energy. *In*: YANG, C.; VIRK, G.; YANG, H. (eds). **Wearable Sensors and Robots**. Singapore: Springer, 2017. (Lecture Notes in Electrical Engineering, v. 399). DOI: 10.1007/978-981-10-2404-7\_5. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-2404-7\\_5](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-2404-7_5). Acesso em: 07 nov. 2022.
- MARDONOVA, M; CHOI, Y. Review of Wearable Device Technology and Its Applications to the Mining Industry. **Energies**, [S.l.], v. 11, n. 3, p. 547, 2018. DOI: 10.3390/en11030547. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/3/547>. Acesso em 07 nov. 2022.
- NASCIMENTO JR., C. L.; YONEYAMA, T. **Inteligência Artificial em Controle e Automação**. São Paulo: Blucher, 2020. 200p.
- O'CONNOR, T.F. *et al.* Wearable Organic Solar Cells with High Cyclic Bending Stability: Materials Selection Criteria. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, [S.l.], v. 144, p. 438-444, 2016. DOI: 10.1016/j.solmat.2015.09.049. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927024815004821>. Acesso em: 07 nov. 2022.
- RIBEIRO, R.; WILTGEN, F. Desenvolvimento de Colete com Sensores Embarcados para Aplicação Civil e Militar. *In*: SIMPÓSIO DE APLICAÇÕES OPERACIONAIS EM ÁREAS DE DEFESA, 23., 2021, São José dos Campos. **Anais [...]**. São José dos Campos: ITA SIGE, 2021a. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/354839801\\_DESENVOLVIMENTO\\_DE\\_COLETE\\_COM\\_SENSORES\\_EMBARCADOS\\_PARA\\_APLICACAO\\_CIVIL\\_E\\_MILITAR\\_DEVELOPMENT\\_OF\\_VEST\\_WITH\\_ONBOARD\\_SENSORS\\_FOR\\_CIVIL\\_AND\\_MILITARY\\_APPLICATION](https://www.researchgate.net/publication/354839801_DESENVOLVIMENTO_DE_COLETE_COM_SENSORES_EMBARCADOS_PARA_APLICACAO_CIVIL_E_MILITAR_DEVELOPMENT_OF_VEST_WITH_ONBOARD_SENSORS_FOR_CIVIL_AND_MILITARY_APPLICATION). Acesso em: 07 nov. 2022.
- RIBEIRO, R.; WILTGEN, F. Colete Autônomo com Sensores Embarcados para Operações em Campo.

In: WORKSHOP ENGENHARIA MECÂNICA, 2021, São André. **Anais [...]**. Santo André: UFABC, 2021b. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/354921483\\_APRESENTACAO\\_DO\\_RESUMO\\_COLETE\\_AUTONOMO\\_COM\\_SENSORES\\_EMBARCADOS\\_PARA\\_OPERACOES\\_EM\\_CAMPO](https://www.researchgate.net/publication/354921483_APRESENTACAO_DO_RESUMO_COLETE_AUTONOMO_COM_SENSORES_EMBARCADOS_PARA_OPERACOES_EM_CAMPO) PRESENTATION\_OF\_ABSTRACT\_AUTONOMOUS\_VEST\_WITH\_ONBOARD\_SENSORS\_FOR\_FIELD\_OPERATIONS. Acesso em: 07 nov. 2022.

RIBEIRO, R.; WILTGEN, F. Teste de Integração de Colete com Múltiplos Sensores via Engenharia de Sistemas & Requisitos. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO, 10., 2021, Taubaté. **Anais [...]**. Taubaté: Universidade de Taubaté - UNITAU, 2021c. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/355712041\\_TESTE\\_DE\\_INTEGRACAO\\_DE\\_COLETE\\_COM\\_MULTIPLOS\\_SENSORES\\_VIA\\_ENGENHARIA\\_DE\\_SISTEMAS\\_REQUISITOS\\_VEST\\_INTEGRATION\\_TEST\\_WITH\\_MULTIPLE\\_SENSORS\\_VIA\\_SYSTEMS\\_REQUIREMENTS\\_ENGINEERING](https://www.researchgate.net/publication/355712041_TESTE_DE_INTEGRACAO_DE_COLETE_COM_MULTIPLOS_SENSORES_VIA_ENGENHARIA_DE_SISTEMAS_REQUISITOS_VEST_INTEGRATION_TEST_WITH_MULTIPLE_SENSORS_VIA_SYSTEMS_REQUIREMENTS_ENGINEERING). Acesso em: 07 nov. 2022.

RIBEIRO, R.; WILTGEN, F. Controlador Nebuloso de um Dispositivo Vestível do Tipo Colete para Atividades Operacionais em Campo. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO, 11., 2022, Taubaté. **Anais [...]**. Taubaté: Universidade de Taubaté - UNITAU, 2022. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/364813054\\_ARTIGO\\_CONTROLADOR\\_NEBULOSO\\_DE\\_UM\\_DISPOSITIVO\\_VESTIVEL\\_DO\\_TIPO\\_COLETE\\_PARA\\_ATIVIDADES\\_OPERACIONAIS\\_EM\\_CAMPO\\_PAPER\\_FUZZY\\_CONTROLLER\\_OF\\_A\\_VEST\\_TYPE\\_WEAR\\_DEVICE\\_FOR\\_FIELD\\_OPERATIONAL\\_ACTIVITIES](https://www.researchgate.net/publication/364813054_ARTIGO_CONTROLADOR_NEBULOSO_DE_UM_DISPOSITIVO_VESTIVEL_DO_TIPO_COLETE_PARA_ATIVIDADES_OPERACIONAIS_EM_CAMPO_PAPER_FUZZY_CONTROLLER_OF_A_VEST_TYPE_WEAR_DEVICE_FOR_FIELD_OPERATIONAL_ACTIVITIES). Acesso em: 07 nov. 2022.

SVERTOKA, E.; RUSU-CASANDRA, A.; MARGHESCU, I. State-of-the-Art of Industrial Wearables: A Systematic Review. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS, 13., 2020, Bucareste. **Anais [...]**. Bucareste, Romênia: IEEE, 2020. DOI: 10.1109/COMM48946.2020.9141982. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9141982>. Acesso em: 07 nov. 2022.

SISTO, J. Soldiers of the Future will Generate their own Power. **U.S. Army**, [s.l.], 17 nov. 2014. Disponível em: [https://www.army.mil/article/138057/soldiers\\_of\\_the\\_future\\_will\\_generate\\_their\\_own\\_power](https://www.army.mil/article/138057/soldiers_of_the_future_will_generate_their_own_power). Acesso em: 07 nov. 2022.

SUH, M.; CARROL, K.; CASSIL, N. Critical Review on Smart Clothing Product Development. **JTATM – Journal of Textile and Apparel, Technology and Management**, [S.l.], v. 6, n. 4, p.1-18, 2010. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/266289675\\_Critical\\_Review\\_on\\_Smart\\_Clothing\\_Product\\_Development](https://www.researchgate.net/publication/266289675_Critical_Review_on_Smart_Clothing_Product_Development). Acesso em: 07 nov. 2022.

WAN, C.; TIAN, R.; AZIZI, A.B. Flexible Thermoelectric Foil for Wearable Energy Harvesting. **Nano Energy**, [S.l.], v. 30, p. 840-845, Dec. 2016. DOI: 10.1016/j.nanoen.2016.09.011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211285516303743>. Acesso em: 07 nov. 2022.

WEINSWIG, D. The Wearables Report: Reviewing a Fast Changing Market. **Fung Global Retail and Technology**, [S.l.], 2016. 65p.

WILTGEN, F. Técnica de Ensaios de Sistemas Complexos com Metodologia de Engenharia de Sistemas & Requisitos. **Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas**, [S.l.], v. 4, n.01, p. 51–60, 2020. DOI: 10.17564/2359-4942.2020v4n1p51-60. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/exatas/article/view/8251>. Acesso em: 07 nov. 2022.

WILTGEN, F. Testing Plan in Systems & Requirements Engineering for Strategic Engineering Areas. 26° International Congress of Mechanical Engineering (COBEM), 26., 2021, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: COBEM, 2021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/357310732\\_TESTING\\_PLAN\\_IN\\_SYSTEMS\\_REQUIREMENTS\\_ENGINEERING\\_FOR\\_STRATEGIC\\_ENGINEERING\\_AREAS](https://www.researchgate.net/publication/357310732_TESTING_PLAN_IN_SYSTEMS_REQUIREMENTS_ENGINEERING_FOR_STRATEGIC_ENGINEERING_AREAS). Acesso em: 07 nov. 2022.

ZHAO, J.; YOU, Z. A Shoe-Embedded Piezoelectric Energy Harvester for Wearable Sensors. **Sensors**, [S.l.], v.14, n. 07, p. 12497-12510, 2014. DOI: 10.3390/s140712497. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424->

8220/14/7/12497. Acesso em: 07 nov. 2022.

### **Sobre os autores**

---

#### **Ricardo Reno Ribeiro**

Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá (1998). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica.

#### **Rodrigo Ramos Oliveira**

Mestrando profissional em engenharia mecânica Universidade de Taubaté, UNITAU, Brasil., especialista em tecnologias e sistemas, e engenheiro de controle e automação.

#### **Filipe Wiltgen**

Doutorado em Dispositivo e Sistemas Eletrônicos e Fusão Termonuclear Controlada pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA (2003). Mestrado em Dispositivos e Sistemas Eletrônicos e Fusão Termonuclear Controlada pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA (1998). Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Taubaté - UNITAU (1994).

---

**Avaliado em:** 15.05.2022

**Aceito em:** 01.11.2022