

# CONTRIBUIÇÕES DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NA AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DE PRODUTOS: ESTUDOS DE CASO

## CONTRIBUTIONS OF INFRARED THERMOGRAPHY IN THE ERGONOMIC EVALUATION OF PRODUCTS: CASE STUDIES

*Franciele Forcelini*<sup>1</sup>

*Giselle Schmidt Alves Díaz Merino*<sup>2</sup>

*Eugenio Andrés Díaz Merino*<sup>3</sup>

## Resumo

Este artigo tem como objetivo identificar as contribuições da termografia infravermelha (TIV) na avaliação ergonômica de produtos, apresentando dois estudos de caso. Os resultados confirmam que a TIV é um método seguro, não-invasivo e eficiente para: (1) avaliar produtos e usuários; (2) verificar relações entre produto-usuário; (3) identificar desconfortos; (4) entender o comportamento de estruturas e materiais; (5) diagnosticar problemas de projeto e; (6) avaliar alternativas. Contudo, pode ser considerada como recurso viável para a realização de avaliações ergonômicas, contribuindo para o desenvolvimento de produtos mais seguros, confortáveis e adequados aos usuários.

**Palavras-chave:** Termografia infravermelha; Design de produto; Ergonomia; Avaliação ergonômica.

## Abstract

This article aims to identify the contributions of infrared thermography (IRT) in the ergonomic evaluation of products, presenting two case studies. The results confirm that IRT is a safe, non-invasive and efficient method for: (1) evaluating products and users; (2) verify product-user relationships; (3) identifying discomforts; (4) understand the behavior of structures and materials; (5) diagnose design problems and; (6) evaluate alternatives. However, it can be considered as a viable resource for carrying out ergonomic evaluations, contributing to the development of safer, more comfortable and suitable products for users.

**Key-words:** Infrared thermography; Product design; Ergonomics; Ergonomic evaluation.

---

<sup>1</sup> francieleforcelini@gmail.com

<sup>2</sup> gisellemerino@gmail.com

<sup>3</sup> eugenio.merino@ufsc.br

## 1 INTRODUÇÃO

No campo do design, a ergonomia é entendida como uma ciência aplicada que considera as características humanas como parâmetros no desenvolvimento de projetos de equipamentos, máquinas, objetos, ambientes e demais sistemas, possibilitando que as pessoas e os produtos possam interagir com eficácia, segurança e conforto (HSUAN-AN, 2017). Para Lida e Guimarães (2016), seu objetivo é estudar o sistema homem-máquina-ambiente para que as soluções dos projetos possam funcionar de forma harmônica com o homem. Ou seja, considerando o usuário, o produto e o contexto, a ergonomia possibilita interações mais seguras e confortáveis.

A ergonomia do produto, também conhecida como Design Ergonômico, agrega e relaciona conhecimentos da ergonomia e do desenho industrial para analisar e compreender a relação entre o homem (usuário) e os produtos e sistemas, visando contribuir para o desenvolvimento da qualidade da vida humana (PASCHOARELLI; MEDOLA; BONFIM, 2015). É a qualidade ergonômica do produto que garante uma interação adequada entre o produto e o usuário, considerando aspectos como a facilidade de manuseio, a adaptação antropométrica, a clareza das informações fornecidas, a facilidades de navegação, as compatibilidades de movimentos e os demais itens de conforto e segurança (IIDA; GUIMARÃES, 2016).

Com base nesses aspectos, a ergonomia de produto concentra-se nas recomendações ergonômicas direcionadas ao projeto de produtos (CORRÊA, 2015), buscando melhorar o bem-estar do usuário e o desempenho do produto por meio de um processo de design baseado nas necessidades humanas (HSUAN-AN, 2017). Seus princípios, conhecimentos e instrumentos podem ser incorporados em todo o ciclo do projeto, desde as etapas iniciais de concepção até as de avaliação do produto em uso, auxiliando no desenvolvimento de novos produtos ou no aperfeiçoamento daqueles existentes (IIDA; GUIMARÃES, 2016).

Nesse contexto, as avaliações ergonômicas podem ser utilizadas para determinar as qualidades de usabilidade do produto, avaliando o seu desempenho durante as tarefas por meio da observação e avaliação de posturas corporais, localização de estresses, dores, índice de erros, acidentes e desconforto (IIDA; GUIMARÃES, 2016). Para tanto, a fim de fundamentar decisões de projeto, podem ser utilizados testes e experimentos com variáveis controladas (MORAES; MONT'ALVÃO, 2009), os quais incluem diferentes recursos e instrumentos de coleta de dados.

Dentre os diversos recursos existentes, este estudo enfatiza o potencial dos instrumentos tecnológicos, que permitem a obtenção de dados objetivos e quantificáveis para a avaliação dos produtos, aproximando a equipe de projeto das necessidades reais dos usuários (MERINO *et al.*, 2018). Nesse sentido, corrobora e evidencia a termografia infravermelha (TIV) como um método viável para auxiliar o desenvolvimento e para a avaliação de produtos (FORCELINI; VARNIER; MERINO, 2019).

Instrumentalizada por câmeras termográficas, a termografia infravermelha permite o registro da radiação térmica (infravermelha) emitida pela superfície de um corpo, transformando-a em valores de temperatura (GABRIEL *et al.*, 2016; HOLST, 2000). Caracteriza-se como um método de coleta de dados não invasivo, sem contato direto e de baixo custo, quando comparado com outros instrumentos (GABRIEL *et al.*, 2016). Com a termografia infravermelha são gerados os termogramas, imagens que podem

indicar condições atípicas em qualquer sistema por meio da variação da sua temperatura superficial (CERDEIRA *et al.*, 2011).

No processo de desenvolvimento de projetos, a TIV pode contribuir de diversas formas, possibilitando: (1) coletas não invasivas; (2) coletas em contextos reais e em tempo real; (3) a obtenção rápida e confiável de múltiplos dados; (4) rigor científico nos projetos; (5) a detecção de problemas; (6) o desenvolvimento e o redesign de projetos; (7) a avaliação de alternativas de projeto e; (8) soluções mais seguras, confortáveis e eficientes (FORCELINI; VARNIER; MERINO, 2019).

Os dados termográficos podem ser recursos adicionais para o mapeamento de percepções e para o estudo aprofundado da matéria analisada (SILVA; MIRA, 2016), auxiliando no diagnóstico do mau uso de materiais, na identificação de falhas de projeto, e também podem ser complementados por dados subjetivos sobre a percepção dos usuários, possibilitando o redesenho de produtos (SILVA; TARALLI; MELZ, 2015).

Contudo, tendo em vista a importância dos estudos ergonômicos e as potencialidades da TIV para a avaliação das relações entre usuário e produto, este artigo tem como objetivo identificar as contribuições do uso da termografia infravermelha na avaliação ergonômica de produtos por meio da apresentação de dois estudos de caso.

## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente artigo possui natureza aplicada e abordagem qualitativa, apresentando resultados que podem ser utilizados na solução de problemas reais. Quanto aos seus objetivos, caracteriza-se como descritivo e explicativo, visto que descreve o uso da termografia infravermelha em avaliações ergonômicas, identificando e explicando suas contribuições para o desenvolvimento de produtos. Para tanto, são apresentados dois estudos de caso instrumentais, que apresentam situações singulares que demonstram potencial de aplicabilidade em outras circunstâncias semelhantes (YIN, 2016).

Este estudo foi dividido em duas etapas:

**Apresentação dos estudos de caso** – compreendeu a descrição de duas avaliações ergonômicas realizadas com o auxílio da termografia infravermelha, destacando seus objetivos, particularidades e principais resultados.

**Identificação das contribuições da termografia infravermelha** – com base na análise dos estudos de casos descritos, contemplou a identificação das contribuições do uso da termografia infravermelha para avaliações ergonômicas dos produtos.

### 2.1 Materiais e métodos

A etapa 1 - Apresentação dos estudos de caso visou demonstrar como a TIV pode ser utilizada em avaliações ergonômicas de produtos. Para tanto, descreve dois estudos de caso, destacando seus objetivos, particularidades e os principais resultados da análise dos dados. A escolha destes casos se justifica pelo fato de um coletar dados do usuário e outro do produto.

**Caso 01** - o primeiro estudo apresentado teve como objetivo avaliar o desconforto no uso de descascadores manuais por usuárias com artrite reumatoide.

**Caso 02** - o segundo visou analisar o comportamento térmico de um *cockpit* de

um veículo de corrida *off-road* (Baja SAE) durante o funcionamento.

A termografia infravermelha foi o principal método de coleta de dados dos estudos de caso, os quais consideraram a influência de diferentes fatores que podem interferir nas respostas térmicas dos materiais e, conseqüentemente, nas análises. Desta forma, para garantir a confiabilidade dos dados e a replicabilidade das coletas, foram consideradas as condições térmicas do objeto e do ambiente, reflexões, emissividade, temperatura, velocidade e umidade do ar, entre outros (SALES *et al.*, 2010). Versões prévias de um protocolo em desenvolvimento foram utilizadas para auxiliar nas coletas.

Os dados registrados durante as coletas de dados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados da coleta de dados

Parâmetros		Caso 01	Caso 02
Equipamentos	Câmera termográfica	FLIR E40	FLIR E40
	Termo-Higro-Anemômetro	Instrutherm THAL 300	Instrutherm THAL 300
	Tripé	Sim	Sim
Medições ambientais	Temperatura	28° C	23° C
	Umidade do ar	55%	70%
	Velocidade do ar	0 m/s	0 m/s
Registro termográfico do produto		Não	Sim
Registro termográfico do usuário		Sim	Não
Amostra de produtos/usuários		4 usuárias	1 produto
Produtos/usuários analisados		Mulheres com artrite reumatoide, com 50 a 70 anos	Cockpit veículo de corrida <i>off-road</i> UFSC Baja SAE
Região de análise		Mãos (região tenar) e punhos	Assento e encosto
Superfície analisada (material)		Pele humana	Couro sintético
Emissividade		0,98	0,94
Aclimatização		15 minutos	60 minutos
Base negra		Sim (TNT preto)	Não
Posição câmera termográfica		Frontal	Diagonal/superior
Número de registros		12 registros (3 por usuária)	11 registros
Momentos dos registros		T0 (repouso) + (após uso do descascador normal) e (após uso do descascador adaptado).	1 registros em repouso (TR) + 10 registros de 3 em 3 minutos (T0, T3, T6, T9, T12, T15, T18, T21, T24, T27).
Intervalo de temperatura para padronização dos termogramas		25 a 36 ° C	19 a 40° C
Métodos complementares		Entrevistas semiestruturadas, mapas de desconforto das mãos, registros audiovisuais para análise da atividade.	Registros audiovisuais.
Local da coleta		UDESC	UFSC

Fonte: os autores.

Após as coletas, os dados obtidos foram organizados e preparados para as análises. Os dados termográficos foram extraídos dos termogramas (imagens geradas pela TIV) por meio do *software* Flir Tools (associado às câmeras termográficas da marca Flir) e, posteriormente, tabulados em planilhas do Microsoft Excel. Os termogramas também foram calibrados com intervalos específicos de temperaturas, para garantir a padronização do espectro cromático. Desta forma, os dados puderam ser analisados, considerando as particularidades de cada caso, apresentadas no próximo tópico deste artigo.

Por fim, na etapa 2 - Identificação das contribuições da termografia infravermelha, os estudos de casos descritos foram analisados com o objetivo de identificar como o uso da TIV pode contribuir em avaliações ergonômicas de produtos.

### **3 ESTUDOS DE CASO**

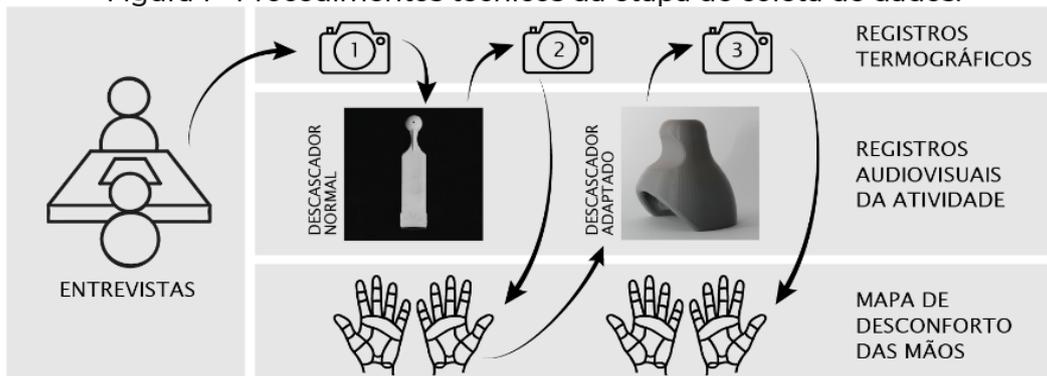
Os estudos de caso apresentados fazem parte de projetos desenvolvidos no Núcleo de Gestão de Design e Laboratório de Design e Usabilidade da Universidade Federal de Santa Catarina (NGD-LDU/UFSC). O NGD atua em projetos de pesquisa e de extensão utilizando as bases conceituais do design, ergonomia e usabilidade e uma abordagem centrada no ser humano. Já o LDU oferece o suporte tecnológico necessário à aferição de dados quantitativos aos projetos, disponibilizando equipamentos como os utilizados para as coletas de dados apresentadas neste estudo.

#### **3.1 Caso 01 - Avaliação do desconforto no uso de descascadores manuais por usuários com Artrite Reumatoide**

O estudo de caso 01 apresenta a avaliação do desconforto no uso de dois modelos de descascadores manuais (normal e adaptado) por quatro usuárias mulheres com Artrite Reumatoide, doença inflamatória que afeta as articulações sinoviais, sobretudo na região das mãos. É uma das maiores causas de perda de mobilidade e dor no mundo, causando limitações funcionais e redução da qualidade de vida (NCC-CC, 2008). A artrite causa inchaço e dor nas articulações, além de movimentos limitados e fraqueza nos braços e nas mãos, resultando em falta de destreza (CLARKSON et al., 2013).

O descascador normal é um modelo existente, comumente utilizado e conhecido no mercado, enquanto o descascador adaptado é um projeto desenvolvido por meio de metodologia centrada no usuário, incorporando os princípios do Design Universal. Os produtos analisados podem ser visualizados na Figura 1, que sistematiza os procedimentos técnicos realizados para a coleta de dados.

Figura 1 - Procedimentos técnicos da etapa de coleta de dados.



Fonte: adaptado de FORCELINI *et al.*, 2018.

Para a avaliação do desconforto da atividade com os descascadores (Figura 2), foi solicitado às usuárias o descasque de dois tipos de legumes (uma batata média e uma cenoura média), sendo realizados três registros termográficos de cada participante – um registro em repouso (termograma controle), o segundo após o uso do descascador normal e o terceiro após o uso do descascador adaptado.

Figura 2 – Atividade desenvolvida pelas usuárias.



Fonte: os autores.

A partir da obtenção dos registros termográficos (Figura 3), foram identificadas as temperaturas dos pontos hiper radiantes (com as temperaturas mais elevadas) da região tenar das mãos e dos punhos, bem como as diferenças das temperaturas em repouso e após o uso de cada descascador. Assim, com base nos dados termográficos e nas informações dos mapas de desconforto das mãos, puderam ser realizadas as análises para a avaliação do desconforto no uso de cada modelo de descascador.

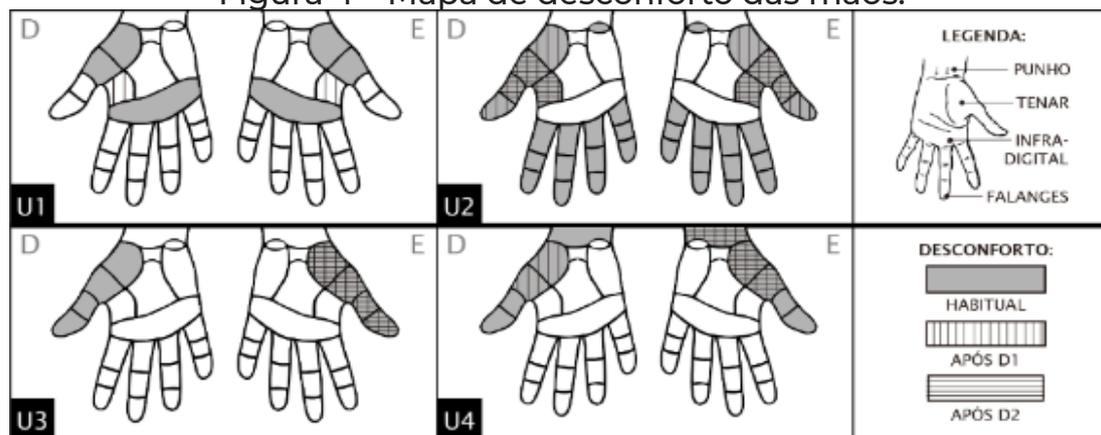
Figura 3 - Registros termográficos das mãos.



Fonte: os autores.

Os resultados deste estudo, apresentados por Forcelini *et al.* (2018), demonstram maior desconforto na região tenar após o uso do descascador normal e o aumento da temperatura na região do punho após o uso do descascador adaptado. De modo geral, os pontos hiper radiantes identificados pela termografia infravermelha confirmam os relatos e indicações das usuárias no mapa de desconforto das mãos (Figura 4). Ou seja, os dados quantitativos da termografia infravermelha corroboraram os relatos subjetivos das usuárias, gerando uma avaliação ergonômica mais objetiva e confiável.

Figura 4 – Mapa de desconforto das mãos.



Fonte: FORCELINI et al., 2018.

De modo geral, o mapa de desconforto das mãos (Figura 4) das quatro usuárias demonstrou maior desconforto habitual na região tenar, área na qual também foram indicados maiores desconfortos após o uso do descascador normal (D1). Desconfortos no punho foram relatados por apenas uma das usuárias, sendo esta uma região já afetada por desconfortos habituais.

A avaliação ergonômica apontou que o descascador adaptado se mostra mais adequado às usuárias com artrite reumatoide do que o descascador normal, demonstrando ser mais eficiente e adequado para a realização da atividade. Ainda, foi constatado que o desenho do descascador adaptado exige menor esforço da região das falanges e, conseqüentemente, maior força da face palmar e punho, distribuindo o esforço para a realização da atividade. Assim, o produto torna a atividade mais confortável para pessoas com artrite que, segundo Clarkson *et al.* (2013) têm dificuldade em segurar com firmeza ou fazer movimentos finos e precisos com os dedos.

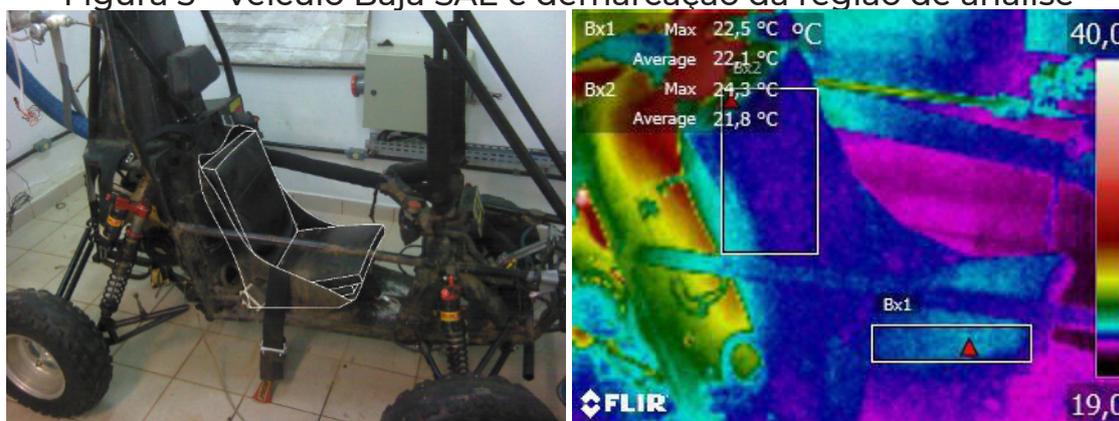
Este estudo também permitiu confirmar a influência da artrite reumatoide na relação entre usuário e produto, evidenciando a necessidade da adequação dos projetos, para que estes ofereçam maior conforto, segurança e usabilidade aos usuários com essa condição (FORCELINI *et al.*, 2018).

### 3.2 Caso 02 - Avaliação do comportamento térmico de um cockpit de um veículo de corrida off-road UFSC Baja SAE

O estudo de caso 02 apresenta a avaliação ergonômica do *cockpit* de um protótipo de corrida da equipe UFSC Baja SAE (Figura 5). Essa equipe é responsável por projetar, construir e testar esse veículo para que ele possa competir a nível regional, nacional e mundial na Competição de Baja SAE (UFSC BAJA SAE, 2018). Nessa competição, os protótipos são avaliados e competem em diversas categorias, sendo uma dessas relacionada à ergonomia.

Parte de uma avaliação ergonômica mais ampla, essa coleta termográfica teve como objetivo analisar o comportamento térmico do assento e do encosto do *cockpit* em funcionamento (motor de combustão ligado), verificando se a estrutura existente entre o motor e o *cockpit* isolava adequadamente o calor emitido pelo motor, impedindo que este se dissipar para o assento/encosto.

Figura 5 - Veículo Baja SAE e demarcação da região de análise

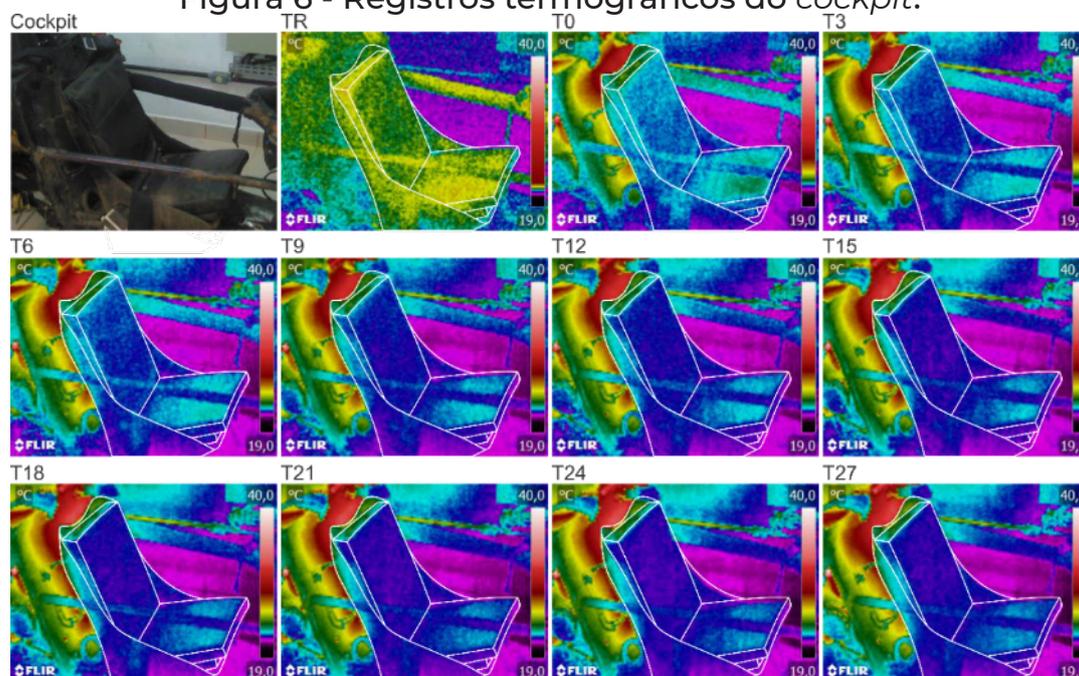


Fonte: os autores.

Para a avaliação do assento e do encosto foram realizados um total de onze registros termográficos do *cockpit* do veículo em posição estática, sendo um registro com o motor desligado (termograma controle) e dez registros sequenciais com o motor ligado, um a cada três minutos (Figura 6). O intervalo total da coleta de dados foi de 27 minutos.

A seguir, foram demarcadas as regiões para extração dos dados nos termogramas. Para tanto, foram realizados testes preliminares para verificar a representatividade dos recortes, que eliminaram áreas que poderiam influenciar e distorcer os dados. Desta forma, foram determinadas duas regiões para a extração dos dados – uma no assento (Bx1) e uma no encosto (Bx2), conforme demonstra a Figura 5.

Figura 6 - Registros termográficos do *cockpit*.

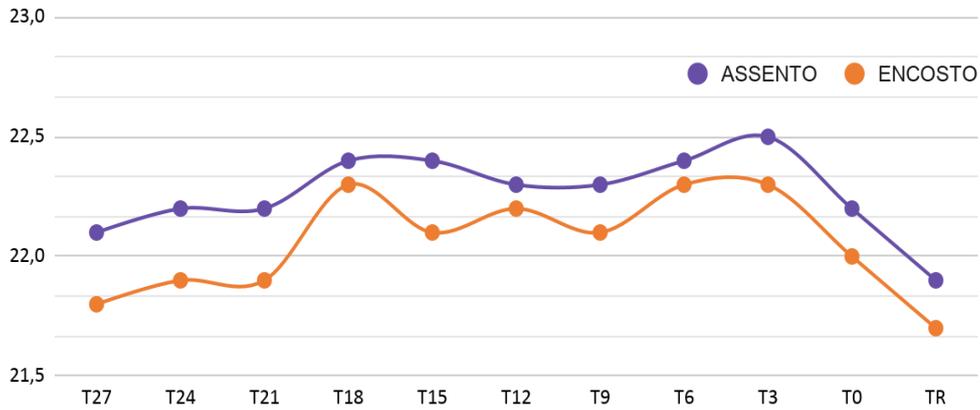


Fonte: os autores.

Com base nas temperaturas extraídas dos termogramas, foram identificadas as temperaturas médias e máximas das regiões de análise (assento e encosto) para cada tempo de registro, bem como calculadas as médias gerais e os desvios padrões.

A Figura 7 apresenta as temperaturas médias das regiões de análise (assento e encosto) para cada tempo de registro.

Figura 7 - Temperaturas médias do assento e encosto do cockpit.

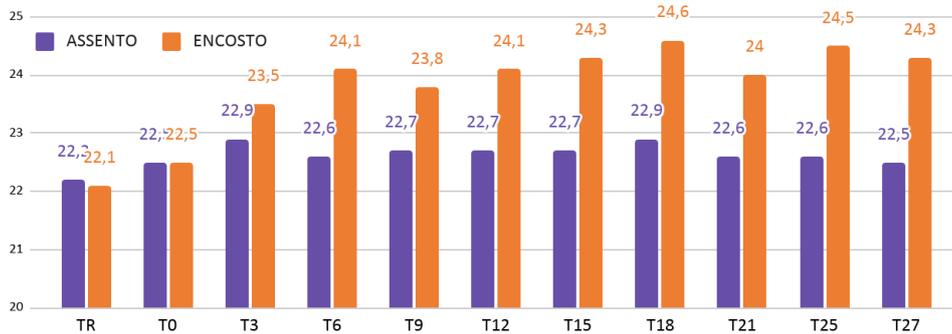


Fonte: os autores.

Esses dados demonstram o comportamento térmico similar das temperaturas do assento e do encosto, as quais apresentaram um pico de aquecimento nos primeiros três minutos de funcionamento do veículo, seguido por uma estabilização e um declínio nos minutos finais da coleta de dados. No entanto, nota-se um aquecimento maior no assento, onde a média das temperaturas registradas foi de 22,3°C, sendo 0,2°C mais elevada que a média do encosto (22,1°C). Além disso, o desvio padrão pequeno apresentado de ambas as partes indica que as temperaturas estão condensadas próximas da média, indicando a sua homogeneidade nos diferentes tempos de registro.

A Figura 8 apresenta as temperaturas máximas das regiões de análise (assento e encosto) para cada tempo de registro.

Figura 8 - Temperaturas máximas do assento e encosto do cockpit.



Fonte: os autores.

Esses dados demonstram que o encosto atingiu temperaturas mais elevadas do que o assento, com uma variação de até 2,5°C. Da mesma forma, o encosto apresenta um desvio padrão mais elevado (0,81°C) do que o do assento (0,20), corroborando

a maior dispersão dos dados. As temperaturas máximas foram localizadas na parte superior do encosto, onde há um recorte abaulado na estrutura base (Figura 5) que possibilita a passagem do calor que ultrapassa a placa de isolamento. Apesar do piloto não ter contato direto com essas regiões, o aumento de temperatura pode elevar sua sensação térmica.

Os resultados desta avaliação ergonômica demonstraram um comportamento térmico similar do assento e encosto do *cockpit*, os quais apresentam temperaturas médias bastante homogêneas. Diante disso, conclui-se que a estrutura utilizada entre o motor e o *cockpit* oferece um isolamento adequado, evitando riscos ao piloto.

No entanto, apesar de não gerarem riscos, as temperaturas máximas encontradas indicam que um recorte na parte superior central do *cockpit* não isola adequadamente o calor residual neste local, podendo gerar desconforto. Esse desconforto é inclusive destacado pelo piloto, que relata passar horas sentado no cockpit durante os dias de prova, que acontecem em áreas externas e podem ser afetadas pelas condições climáticas que prejudicam ainda mais seu conforto térmico. Nesse sentido, sugere-se uma análise mais detalhada desta estrutura e do contexto, a fim de buscar uma solução adequada.

#### 4 DISCUSSÕES

Com base nos estudos apresentados neste artigo, torna-se possível visualizar diferentes possibilidades de uso da TIV em avaliações ergonômicas, tanto para a avaliação de produtos, quanto de seus usuários. Em ambos os casos, o método se mostrou eficiente para a coleta de dados. No caso da coleta com as usuárias de descascadores manuais foi possível corroborar Fernández-Cuevas et al. (2015), que destaca a TIV como uma técnica segura para o registro rápido e não invasivo da energia irradiada que é liberada pelo corpo.

Neste estudo de caso, a TIV possibilitou a verificação das reações fisiológicas das mãos das usuárias após o uso de dois diferentes tipos de descascadores (um modelo convencional e outro adaptado), mensurando as alterações térmicas. Os registros tiveram como foco as mãos das usuárias, onde foi possível observar as regiões com maior contato e, possivelmente, maior atrito com os produtos. Nesse sentido, destaca-se que pressões excessivas podem gerar mudanças térmicas observáveis nos termogramas (ALVES NETO et al., 2009), as quais também podem indicar desconfortos.

A identificação dessas regiões de contato e de maior pressão, bem como de suas alterações térmicas, pode auxiliar no aprimoramento dos projetos avaliados, propiciando soluções mais eficientes e confortáveis. Conforme destaca Hsuan-na (2017), o design pode criar soluções capazes de reduzir o esforço físico do usuário e, em consequência, as reações fisiológicas excessivas. Ressalta-se ainda que, neste caso, os benefícios de uma solução de design adequada podem ser ainda mais relevantes, visto que consideram as limitações de pessoas com AR, as quais encontram dificuldades na realização de atividades simples da vida diária (DE ANDRADE, 2020).

Nessa perspectiva, a usabilidade de um produto pode ser melhorada com alteração de algumas características físicas como dimensões, pesos, formas e resistências, adaptando o produto às características dos usuários (IIDA; GUIMARÃES, 2016). Assim, a ergonomia cumpre sua função de criar com base das necessidades humanas para melhorar seu bem-estar e o desempenho geral do sistema (MORRIS, 2010).

As características das empunhaduras, como as dos descascadores analisados neste estudo, influenciam diretamente no desempenho das atividades e, portanto, devem ser adequadas às mãos dos usuários. Hsuan-na (2017) ressalta que falhas ou inadequações no formato e nas dimensões dos produtos podem acarretar problemas e desconforto, cansaço, lesões ou acidentes. Nesse contexto, também se destaca a relevância do uso de dados antropométricos, que possibilitam a adaptação física entre produtos e usuários (MORRIS, 2010) e podem ajudar na concepção adequada dos equipamentos para uma melhor eficiência e conforto humano (KAR et al., 2003; CORRÊA, 2015).

Neste estudo, a TIV se mostrou adequada para identificar os desconfortos gerados pelo uso do descascador comum e as alterações causadas pelo adaptado, permitindo a avaliação ergonômica de ambos os modelos no que se refere à adequação aos usuários com artrite reumatoide. Isso corrobora que esse método pode auxiliar em análises da percepção tátil (SILVA; MIRA, 2016), bem como na avaliação e redesenho de produtos mais adequados, confortáveis e seguros (SILVA; TARALLI; MELZ, 2015; MERINO et al., 2018; FORCELINI; VARNIER; MERINO, 2019).

O estudo demonstrou a complementaridade dos dados quantitativos e qualitativos nas avaliações ergonômicas, visto que a análise dos dados termográficos pode corroborar os dados subjetivos dos mapas de desconforto das mãos das usuárias, elaborado com base em seus relatos. De modo geral, os pontos hiper radiantes identificados nos termogramas se mostraram coerentes com as indicações de desconforto das usuárias. Ou seja, a TIV pode ser associada a técnicas subjetivas para avaliar a percepção dos usuários (SILVA; TARALLI; MELZ, 2015) e os mapas de desconforto podem ser ferramentas eficiente para complementar os dados termográficos (FORCELINI et al., 2018).

Ainda, cabe ressaltar a contribuição das observações sistemáticas, que de acordo com Moraes e Mont'Alvão (2009) são realizadas em condições controladas com o intuito de responder a objetivos pré-estipulados. Neste caso, estas auxiliaram a análise das interações das usuárias com os descascadores durante a realização da atividade, evidenciando comportamentos e reações não relatadas.

Shida e Bento (2012) ressaltam que não há uma única ferramenta que atenda aos variados objetivos e especificidades das demandas ergonômicas, o que exige a criação e proposição de diferentes protocolos, adequados às características e necessidades de cada situação. Para Paschoarelli, Medola e Bonfim (2015), quando aplicados de forma conjunta, os métodos quantitativos e qualitativos podem contribuir de forma complementar e, desta forma, favorecer a construção de uma visão mais completa das interações entre usuários e produtos, bem como gerar conhecimento científico na área do Design.

O segundo estudo de caso, por sua vez, demonstrou que a TIV pode ser utilizada de forma eficiente para a avaliação do comportamento térmico de materiais e estruturas, podendo diagnosticar problemas ou mesmo confirmar o desempenho adequado desses elementos. Com o auxílio deste método, foi possível uma análise mais aprofundada do assento e o encosto do cockpit do veículo, os quais puderam ser representados por um espectro de cores (termogramas) que exprimiram suas variações de temperatura, que seriam imperceptíveis a olho nu (SILVA; MIRA, 2016).

Os dados termográficos demonstraram um comportamento térmico similar no assento e no encosto, com temperaturas médias homogêneas, que confirmaram a efi-

ciência da estrutura de isolamento. No entanto, as temperaturas máximas indicaram que parte da estrutura do cockpit pode não isolar adequadamente o calor, no caso da parte superior central do assento, o que pode gerar desconfortos ao piloto. Nesse tipo de análise, a TIV pode auxiliar na investigação dos objetos e na identificação do mau uso de materiais e peças (SILVA; TARALLI; MELZ, 2015), permitindo uma análise mais detalhada do problema e a avaliação de novas alternativas/soluções de projeto.

Segundo Fai et al. (2007) o contato do condutor com o assento é uma significativa fonte de desconforto, tendo como uma das principais causas de desconforto os materiais utilizados em sua confecção. O banco de um veículo, além de permitir regulagens para se adequar ao condutor, deve se atentar com relação aos materiais utilizados em sua confecção, considerando que estes permitam a transpiração (ZITKUS, 2016).

Assim como no estudo anterior, os registros termográficos foram realizados sem a necessidade de contato ou aproximação com o objeto de estudo, evitando interferências que poderiam afetar a confiabilidade dos dados. Ou seja, confirma-se que a TIV é uma técnica de ensaio não destrutivo de grande aplicabilidade para análises e inspeções de materiais, possibilitando a medição de temperatura de suas superfícies e avaliação de seu comportamento térmico em diferentes situações (SALES, JUNIOR, PATRÍCIO, 2014).

Como exemplo destas aplicações, destaca-se o experimento desenvolvido por Sales et al. (2017) para avaliar as temperaturas dos assentos de 8 tipos de cadeiras feitas de diferentes materiais por meio da TIV. Além de identificar que os bancos de couro sintético, como o do cockpit analisado, apresentaram as temperaturas mais altas, o estudo também revelou que a termografia pode contribuir para estudos de conforto térmico de assentos, determinando os materiais mais adequados.

Silva e Mira (2016) utilizaram a TIV para a análise de sua condutividade térmica. Ao analisarem diferentes tipos de polímeros, os autores perceberam que as amostras com maior retenção de calor também apresentaram menor condutividade térmica, visto que o calor aplicado sobre elas não se dissipava rapidamente. Assim, ao evidenciarem que a composição do polímero tem influência sob sua condutividade, destacam a relevância de dados precisos sobre a condutividade e emissividade térmica para o uso do material e compreensão de aspectos relacionados à percepção dos usuários, visto que a capacidade de conduzir calor pode afetar suas experiências com os produtos e materiais.

Por fim, cabe ressaltar que as coletas de dados realizadas nos estudos de caso consideraram as principais diretrizes e parâmetros para o uso da termografia infravermelha (apresentados na Tabela 1). Isso garante a confiabilidade dos dados gerados e também possibilita a replicabilidade dos procedimentos.

## 5 CONCLUSÃO

A termografia infravermelha tem se mostrado um método seguro, não-invasivo, não destrutivo e de grande aplicabilidade no campo do design e da ergonomia. De forma a complementar os constructos existentes, este estudo demonstrou diferentes possibilidades de aplicação dessa tecnologia em avaliações ergonômicas de produtos, onde o método se mostrou eficiente para: (1) avaliar produtos e usuários; (2) verificar relações e interações entre produto e usuário; (3) identificar desconfortos no uso de produtos; (4) entender o comportamento de estruturas e materiais; (5) diagnosticar

problemas de projeto e possibilidades de melhorias e; (6) avaliar alternativas de projeto (Figura 9).

Figura 9 - Aplicações da TIV na avaliação ergonômica de produtos.



Fonte: os autores.

Desta forma, ao possibilitar a obtenção de dados de produtos, usuários e da interação entre eles, a termografia infravermelha permite que as características e reações humanas sejam consideradas no desenvolvimento e redesenho de projetos de produtos, tornando-os mais seguros, confortáveis e adequados aos usuários. Os dados quantitativos obtidos por meio dos termogramas podem, juntamente com as análises qualitativas, podem permitir análises mais completas e objetivas dos projetos de design.

Destaca-se ainda a relevância de soluções de design que considerem as necessidades de pessoas com patologias e condições limitantes, as quais podem encontrar dificuldades na execução de atividades simples da vida diária. Neste contexto, a termografia infravermelha pode ser um recurso para a coleta de dados mesmo quando os usuários possuem limitações comunicacionais, as quais os impedem de relatar suas percepções e desconfortos.

A aplicação da termografia infravermelha no contexto das avaliações ergonômicas beneficia os usuários, ao mitigar riscos e propiciar maior conforto no uso dos produtos, e também auxilia os profissionais envolvidos no processo de desenvolvimento e produção dos produtos no entendimento de comportamentos térmicos, no diagnóstico de problemas e na avaliação de alternativas. Como resultado, as soluções ergonômicas podem aumentar a autonomia dos usuários e melhorar seu desempenho durante as atividades.

Contudo, cabe destacar que para que os dados termográficos sejam confiáveis e possam refletir a realidade do caso analisado, estes precisam ser coletados por meio de protocolos sistemáticos, os quais devem considerar aspectos do contexto de coleta, dos usuários e/ou dos produtos analisados. Além de garantir a confiabilidade dos da-

dos gerados, estes protocolos devem permitir a replicabilidade dos experimentos.

Como estudos futuros, sugere-se a apresentação de novos estudos de casos que exemplifiquem outras possíveis contribuições da termografia infravermelha no campo do design e da ergonomia. Podem ser realizados estudos com outros perfis de usuários e diferentes tipos de produtos. Sugere-se também que os estudos enfatizem os possíveis métodos de análise dos dados termográficos.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de Pós-graduação em Design da UFSC (PósDesign/UFSC), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP/UFSC), ao Núcleo de Gestão de Design e Laboratório de Design e Usabilidade (NGD-LDU/UFSC), à Rede de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Assistiva (RPDTA), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e a todos os envolvidos nas coletas de dados.

## REFERÊNCIAS

ALVES NETO, O. et al. Dor: princípios e prática. Porto Alegre: Artmed, 2009.

CERDEIRA, Fernando et al. Applicability of infrared thermography to the study of the behaviour of stone panels as building envelopes. *Energy and Buildings*, v. 43, n. 8, p. 1845-1851, 2011. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811001071?casa\\_token=PCZcsibz\\_poAAAAA:Sgh1zhyO15GvMhiL6jgaw5O-ZL0kbl5XzxSyuqAp51Embu8AqNIU3Jc-KQH0Ny5GbaqDV90oavCU](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811001071?casa_token=PCZcsibz_poAAAAA:Sgh1zhyO15GvMhiL6jgaw5O-ZL0kbl5XzxSyuqAp51Embu8AqNIU3Jc-KQH0Ny5GbaqDV90oavCU). Acesso em: 25. fev. 2021.

CLARKSON, P. John et al. Inclusive design: Design for the whole population. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2013.

CORRÊA, Vanderlei Moraes. Ergonomia: fundamentos e aplicações. Porto Alegre, Bookman, 2015.

DE ANDRADE, Allisson. F. et al.. User-Centered Design: Use of the User-Capacity Toolkit to Obtain Subject Data with Rheumatoid Arthritis. *DAT Journal*, [S. l.], v. 5, n. 3, p. 215–234, 2020. DOI: 10.29147/dat.v5i3.236. Disponível em: <https://datjournal.emnuvens.com.br/dat/article/view/236>. Acesso em: 20 jan. 2022.

FAI, T.C.; DELBRESSINE, F.; RAUTERBERG, M. Vehicle Seat Design: State of the Art and Recent Development. *Proceedings World Engineering Congress 2007*. Penang, Malaysia. p. 51-61. 2007. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Vehicle-seat-design-%3A-state-of-the-art-and-recent-Tan-Delbressine/7c9ae5691712cc9211315ae34df92f8f0e522d32>. Acesso em: 15. jan. 2022.

FERNÁNDEZ-CUEVAS, Ismael et al. Classification of factors influencing the use of infra-

red thermography in humans: A review. *Infrared Physics & Technology*, v. 71, p. 28-55, 2015. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350449515000523?-casa\\_token=FY7D8Mj8qq4AAAAA:d-jZgZBoTLRajLQyPhDqoIMys3kPS-lp7\\_8n4KIKp-Dkem6TxKE8lppb8Hi9WzIukwkN-Wqtag](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350449515000523?-casa_token=FY7D8Mj8qq4AAAAA:d-jZgZBoTLRajLQyPhDqoIMys3kPS-lp7_8n4KIKp-Dkem6TxKE8lppb8Hi9WzIukwkN-Wqtag). Acesso em: 25. fev. 2021.

FORCELINI, Franciele et al. Avaliação do desconforto no uso de descascadores manuais por usuários com Artrite Reumatoide. In: PASCHOARELLI, Luis Carlos; MEDOLA, Fausto Orsi (Org.). *Tecnologia Assistiva: Pesquisa e Conhecimento - I*. Bauru: Canal 6 Editora, 2018. p. 215-224. Disponível em: [www.canal6.com.br/livros\\_loja/Ebook\\_TA\\_pesquisa1.pdf](http://www.canal6.com.br/livros_loja/Ebook_TA_pesquisa1.pdf). Acesso em: 15 set. 2020.

FORCELINI, Franciele; VARNIER, Thiago; MERINO, Eugenio Andres Díaz. Termografia Infravermelha e Captura de Movimentos: vantagens e desvantagens no desenvolvimento de projetos. In: Congresso brasileiro pesquisa e desenvolvimento em design, 13., 2018, Joinville. Anais... Joinville: Blucher, 2019. ISSN 2318-6968. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/termografia-infravermelha-e-captura-de-movimentos-vantagens-e-desvantagens-no-desenvolvimento-de-projetos-30138>. Acesso em: 15 jul. 2020.

GABRIEL, Joaquim et al. *Termografia: imagem médica e síndromes dolorosas*. Lisboa: Lidel, 2016.

HOLST, Gerald C. *Common sense approach to thermal imaging*. Washington: SPIE Optical Engineering Press, 2000.

HSUAN-AN, Tai. *Design: conceitos e métodos*. São Paulo, Blucher, 2017.

IIDA, Itiro; GUIMARÃES, Lia B. de M. *Ergonomia: projeto e produção*. 3. ed. rev. São Paulo: Blücher, 2016.

KAR, Sanjit Kumar et al. An Investigation of Hand Anthropometry of Agricultural Workers. *Journal of Human Ecology*, v. 14, n. 1, p. 57-62, 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/264857875\\_An\\_Investigation\\_of\\_Hand\\_Anthropometry\\_of\\_Agricultural\\_Workers](https://www.researchgate.net/publication/264857875_An_Investigation_of_Hand_Anthropometry_of_Agricultural_Workers). Acesso em: 23 jan. 2021.

MERINO, Eugenio A. D. et al. O uso da instrumentação tecnológica em projetos de tecnologia assistiva: captura de movimentos e termografia infravermelha. *Human Factors In Design*, Florianópolis, v. 7, n. 14, p. 95-113, dez. 2018. Disponível em: <http://periodicos.udesc.br/index.php/hfd/article/view/2316796307142018095/8991>. Acesso em: 18 fev. 2021.

MORAES, Anamaria de; MONT'ALVÃO, Cláudia. *Ergonomia: Conceitos e Aplicações*, Rio de Janeiro: 2AB, 2009.

MORRIS, Richard. *Fundamentos de design de produto*. Porto Alegre: Bookman Editora, 2010.

NCC-CC (National Collaborating Centre for Chronic Conditions). *Osteoarthritis: Natio-*

nal Clinical Guidelines for Care and Management in Adults. London: Royal College of Physicians, 2008.

PASCHOARELLI, Luis Carlos; MEDOLA, Fausto Orsi; BONFIM, Gabriel Henrique Cruz. Características Qualitativas, Quantitativas e Quali-quantitativas de Abordagens Científicas: estudos de caso na subárea do Design Ergonômico. *Revista de Design, Tecnologia e Sociedade*, v. 2, n. 1, p. 65-78, 2015. Disponível <em:http://periodicos.unb.br/index.php/design-tecnologia-sociedade/article/download/15699/14030>. Acesso em: 03 mar. 2021.

SALES, Rosemary B. C. et al. Concrete Study Using Infrared Thermography and Forced Resonant Frequency. *Advanced Materials Research*, [s.l.], v. 168-170, p.778-786, dez. 2010. Trans Tech Publications. Disponível em: <https://www.scientific.net/AMR.168-170.778>. Acesso em: 23 fev. 2021.

SALES, Rosemary B. C. et al. Thermal comfort of seats as visualized by infrared thermography. *Applied Ergonomics*, [s.l.], v. 62, p.142-149, jul. 2017. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2017.03.003>. Acesso em: 21 jan. 2021.

SALES, Rosemary B. C.; JUNIOR, Orlando G. S.; PATRÍCIO, Patrícia S. O.; A termografia infravermelha auxiliando o design de ambientes: análise de novos materiais., p. 2194-2205. In: **Anais do 11º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. Blucher Design Proceedings**, v. 1, n. 4. São Paulo: Blucher, 2014. Disponível em: <<https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/a-termografia-infravermelha-auxiliando-o-design-de-ambientes-anlise-de-novos-materiais-12815>>. Acesso em: 21 jan. 2021.

SHIDA, Georgia Jully; BENTO, Paulo Eduardo Gomes. Métodos e ferramentas ergonômicas que auxiliam na análise de situações de trabalho. In: VIII Congresso Nacional de Excelência em gestão. 2012. Disponível em: <[https://www.inovarse.org/sites/default/files/T12\\_0496\\_3097.pdf](https://www.inovarse.org/sites/default/files/T12_0496_3097.pdf)>. Acesso em: 11 fev. 2021.

SILVA, Júlio César R. P.; MIRA, Maria do R. G. Termografia: ferramenta auxiliar na pesquisa de materiais e no design de produtos. *Libro de Actas - Systems & Design: Beyond Processes and Thinking (IFDP - SD2016)*, [s.l.], p.377-391, 22 jun. 2016. Universitat Politècnica València. Disponível em: <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/IFDP/IFDP/paper/viewFile/3651/2097>. Acesso em: 10 abr. 2021.

SILVA, Júlio César R. P. da; TARALLI, Cibele H.; MELZ, Simone P. M. Termograma: A imagem térmica como instrumento de diagnóstico rápido no design. In: *Fourth International Conference on Integration of Design, Engineering and Management for innovation. Anais...* Florianópolis, SC, Brasil: 2015. Disponível em: <http://janainamos.com.br/ide-mi2015/anais/02/143332.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2021.

UFSC BAJA SAE. Quem somos. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <http://www.baja.ufsc.br/>. Acesso em: 05 ago. 2020.

ZITKUS, Emilene et al. Ergonomia no BAJA: Análise do Desconforto Percebido. 1º CO-

NAERG – Congresso Internacional de Ergonomia Aplicada. Dez., 2016. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/51484249/Versao-publicada-7065.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2022.

YIN, Robert K. Pesquisa qualitativa do início ao fim. Porto Alegre: Penso, 2016.