

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

CERISE MARIA DE LIMA SOFFIATTI ZOLET

O USO DE IMAGENS TÉRMICAS NA AVALIAÇÃO DO RISCO DE  
COMPLICAÇÕES DO PÉ DIABÉTICO

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2020

CERISE MARIA DE LIMA SOFFIATTI ZOLET

O USO DE IMAGENS TÉRMICAS NA AVALIAÇÃO DO RISCO DE  
COMPLICAÇÕES DO PÉ DIABÉTICO

The use of thermal images to assess the risk of complications of diabetic foot

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Engenharia Biomédica.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Borba Neves  
Coorientadora: Profa. Dra. Leandra Ulbricht

CURITIBA

2020



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite o download e o compartilhamento da obra desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-la ou utilizá-la para fins comerciais.



Ministério da Educação  
**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - CAMPUS CURITIBA  
SECRETARIA GERAL DO STRICTO SENSU SEDE CENTRO - CT



## TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 158

A Dissertação de Mestrado intitulada "O uso de imagens térmicas na avaliação do risco de complicações do pé diabético", defendida em sessão pública pelo(a) candidato(a) Cerise Maria de Lima Soffiatti Zolet, no dia 14 de outubro de 2020, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Ciências, área de concentração Engenharia Biomédica, linha de pesquisa Engenharia Clínica e Gestão, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica - PPGEB.

**Prof(a). Dr(a). Eduardo Borba Neves - UTFPR (presidente)**

**Prof(a). Dr(a). Marcos de Sá Rego Fortes - Exército Brasileiro**

**Prof(a). Dr(a). Eduardo Camillo Martinez - UTAD**

Este Termo de Aprovação encontra-se na pasta do aluno na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação realizada após a entrega da versão final, incluindo correções necessárias, permitindo o encaminhamento para análise e publicação no Repositório Institucional.

Assinado eletronicamente por

Coordenador do Programa  
Gilson Yukio Sato

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por manter forte em mim, a vontade e a disposição de aprender.

Aos meus orientadores, professor Dr. Eduardo Borba Neves e professora Dra. Leandra Ulbricht, minha gratidão pelo acompanhamento durante essa jornada. Agradeço pelo apoio, conselhos, sugestões e pelos valiosos ensinamentos.

À professora Leandra, ainda, agradeço pela disponibilização do espaço físico e equipamentos do Laboratório de Ergonomia, para condução da pesquisa, e também ao Tiago Kochake, pela presteza em colaborar nos trabalhos.

Agradeço a todos que contribuíram na divulgação da pesquisa, em especial à minha irmã Marise Soffiatti Stroparo, ao Wagner Ripka, à Associação Paranaense do Diabético, e ao pessoal do Centro de Diabetes Curitiba: Edgard Niclewicz Filho, Dra. Luciana Pechmann, Marinez Jucovski e Dediane Karger.

Agradeço também à Larissa de Geus, por sua colaboração na produção do material de divulgação e na edição de imagens.

E a cada voluntário, que disponibilizou um pouco de seu tempo, participando da pesquisa, minha gratidão eterna, pois sem eles, a realização deste trabalho não teria sido possível.

“Se você quiser descobrir os segredos do universo, pense em termos de energia, frequência e vibração.”

(Nikola Tesla)

## RESUMO

O diabetes *mellitus* é um grave problema de saúde pública que pode causar distúrbios micro e macrovasculares. Uma das complicações mais frequentes é o surgimento de úlceras nos pés, que podem levar à necessidade de amputação. Alterações na temperatura da pele são sinais de anormalidades, e a termografia de infravermelho pode ser uma ferramenta útil na detecção precoce do risco de úlceras do pé diabético. Esse exame capta a radiação térmica da pele e fornece uma imagem com a distribuição da temperatura, de maneira segura, rápida e sem contato. Este trabalho teve por objetivo estudar a distribuição de temperatura da planta dos pés de indivíduos diabéticos e não diabéticos. Participaram do estudo 72 voluntários, sendo 36 diabéticos (10 homens e 26 mulheres) e 36 indivíduos não diabéticos (12 homens e 24 mulheres). Foram adquiridas imagens térmicas da face e planta dos pés. Os pés foram, então, submetidos a um teste de estresse ao frio, após o qual foi adquirida nova imagem térmica. Nas análises estatísticas, foram adotados testes não paramétricos. No grupo de diabéticos, foi obtida correlação negativa entre a idade e a temperatura da testa ( $\rho = -0,492$ ;  $p < 0,01$ ), e positiva entre a temperatura da testa e a temperatura dos pés, obtida antes do estresse térmico ( $\rho = 0,355$ ;  $p < 0,05$ ). No grupo de não diabéticos, a correlação foi positiva entre idade e temperatura dos olhos ( $\rho = 0,367$ ;  $p < 0,05$ ), e negativa entre idade e assimetria térmica dos pés, antes do estímulo com frio ( $\rho = -0,365$ ;  $p < 0,05$ ). Não foi observada diferença significativa entre os grupos, na temperatura média dos pés. A análise da assimetria térmica entre os pés revelou valor significativamente maior ( $p < 0,001$ ) nos indivíduos diabéticos ( $0,74^{\circ}\text{C}$ ), do que entre os voluntários não diabéticos ( $0,26^{\circ}\text{C}$ ). Na diferença de temperatura entre calcanhar e cada dedo foi observada diferença significativa entre os grupos, estando os diabéticos com a temperatura dos dedos bem mais alta que a do calcanhar, especialmente no hálux ( $1,7^{\circ}\text{C}$  mais alta). A maior diferença de temperatura entre os dedos após o estresse térmico também foi significativamente maior ( $p < 0,001$ ) no grupo de diabéticos ( $1,85^{\circ}\text{C}$ ), do que no grupo de não diabéticos ( $0,95^{\circ}\text{C}$ ). Com base nesses resultados, recomenda-se a utilização das análises termográficas relacionadas às temperaturas dos dedos (diferença de temperatura entre calcanhar e dedos e diferença entre os dedos), uma vez que as diferenças entre os grupos foram significativas, e a avaliação pode ser feita em cada pé separadamente, sem a necessidade de comparar regiões correspondentes dos dois pés.

**Palavras-chave:** Termografia de infravermelho. Diabetes *mellitus*. Pé diabético.

## ABSTRACT

Diabetes mellitus is a serious public health problem that can cause micro and macrovascular disorders. One of the most frequent complications is the appearance of foot ulcers, which can lead to the need for amputation. Changes in skin temperature are signs of abnormalities, and infrared thermography can be a useful tool in the early detection of the risk of diabetic foot ulcers. This examination captures the thermal radiation of the skin and provides an image with the temperature distribution, in a safe, fast and non-contact way. This work aimed to study the temperature distribution of the soles of diabetic and non-diabetic individuals. Seventy-two volunteers participated in the study, being 36 diabetic (10 men and 26 women) and 36 non-diabetic individuals (12 men and 24 women). Thermal images of the face and soles were acquired. The feet were then subjected to a cold stress test, after which a new thermal image was acquired. In statistical analysis, non-parametric tests were adopted. In the diabetic group, a negative correlation was obtained between age and forehead temperature ( $\rho = -0.492$ ;  $p < 0.01$ ), and a positive correlation between forehead temperature and foot temperature, obtained before the thermal stress ( $\rho = 0.355$ ;  $p < 0.05$ ). In the non-diabetic group, the correlation was positive between age and temperature of the eyes ( $\rho = 0.367$ ;  $p < 0.05$ ), and negative between age and thermal asymmetry of the feet, before the cold stimulus ( $\rho = -0.365$ ;  $p < 0.05$ ). There was no significant difference between the groups in the mean feet temperature. The analysis of thermal asymmetry between the feet revealed a significantly higher value ( $p < 0.001$ ) in diabetic individuals ( $0.74^{\circ}\text{C}$ ), than among non-diabetic volunteers ( $0.26^{\circ}\text{C}$ ). In the temperature difference between the heel and each toe, a significant difference was observed between the groups, and diabetic individuals showed the temperature of the toes much higher than that of the heel, especially in the hallux ( $1.7^{\circ}\text{C}$  higher). The greatest temperature difference between the toes after the cold stress test was also significantly greater ( $p < 0.001$ ) in the diabetic group ( $1.85^{\circ}\text{C}$ ), than in the non-diabetic group ( $0.95^{\circ}\text{C}$ ). Based on these results, it is recommended to use thermographic analysis related to the temperatures of the toes (temperature difference between heel and toes and difference between toes), since the differences between the groups were significant, and the assessment can be made on each foot separately, without the need to compare corresponding regions of the two feet.

**Keywords:** Infrared thermography. Diabetes mellitus. Diabetic foot.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Critérios laboratoriais para diagnóstico de normoglicemia, pré-diabetes e diabetes <i>mellitus</i> .....	17
Quadro 2 - Classificação do estado nutricional segundo o índice de massa corporal .....	34



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Regiões dos pés com maior risco de ulceração .....	18
Figura 2 -	Principais vias de ulceração no pé diabético .....	19
Figura 3 -	Exemplo de úlcera neuropática na região do hálux .....	20
Figura 4 -	Ilustração de parte do espectro eletromagnético, mostrando a faixa de radiação infravermelha .....	22
Figura 5 -	Exames por imagem que utilizam diferentes faixas de frequência do espectro eletromagnético .....	25
Figura 6 -	Imagens térmicas com diferentes regiões de interesse selecionadas (nenhum dos dedos ou somente o hálux) .....	28
Figura 7 -	Imagens térmicas com diferentes regiões de interesse selecionadas (hálux e mais um ou dois dedos) .....	29
Figura 8 -	Imagens térmicas com diferentes regiões de interesse selecionadas (hálux e os quatro últimos dedos) .....	29
Figura 9 -	Ilustração dos quatro angiossomas da planta dos pés .....	30
Figura 10 -	Exemplo de segmentação da planta dos pés de acordo com os angiossomas .....	30
Figura 11 -	Câmera termográfica FLIR® E60 .....	36
Figura 12 -	Posicionamento dos pés, com anteparo na região dos tornozelos para bloquear radiação térmica proveniente de outras partes do corpo .....	36
Figura 13 -	Regiões de interesse analisadas (face e planta dos pés) .....	37
Figura 14 -	Pés de um indivíduo não diabético antes e após o estresse térmico .....	47
Figura 15 -	Pés de um indivíduo diabético antes e após o estresse térmico ..	47
Figura 16 -	Exemplos de distribuição da temperatura plantar com simetria entre os pés .....	48
Figura 17 -	Exemplos de distribuição da temperatura plantar com assimetrias entre os pés .....	48

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Diagramas de caixa ( <i>boxplot</i> ), referentes à temperatura média do pé, antes do estresse térmico, nos dois grupos (diabéticos e não diabéticos) .....	42
Gráfico 2 - Diagramas de caixa ( <i>boxplot</i> ), referentes à assimetria térmica entre os pés, antes do estresse térmico, nos dois grupos (diabéticos e não diabéticos) .....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Características descritivas dos participantes.....	40
Tabela 2 -	Teste de correlação entre as variáveis idade, temperatura média da testa, temperatura máxima dos olhos, temperatura média dos pés e assimetria térmica entre os pés (antes do estresse térmico), no grupo de diabéticos .....	41
Tabela 3 -	Teste de correlação entre as variáveis idade, temperatura média da testa, temperatura máxima dos olhos, temperatura média dos pés e assimetria térmica entre os pés (antes do estresse térmico), no grupo de não diabéticos .....	41
Tabela 4 -	Temperatura média do pé e por região de interesse, antes do estresse térmico .....	42
Tabela 5 -	Assimetria térmica entre os pés e por região de interesse, antes do estresse térmico .....	43
Tabela 6 -	Diferenças de temperatura entre calcanhar e cada dedo do pé, antes do estresse térmico .....	45
Tabela 7 -	Maior diferença de temperatura entre os dedos, antes e após o estresse térmico (diabéticos e não diabéticos) .....	45
Tabela 8 -	Maior diferença de temperatura entre os dedos, sem hálux, antes e após o estresse térmico (diabéticos e não diabéticos) ...	46
Tabela 9 -	Maior diferença de temperatura entre os dedos, antes e após o estresse térmico (comparação em cada grupo) .....	46
Tabela 10 -	Frequências dos padrões de temperatura plantar, antes do estresse térmico .....	49
Tabela 11 -	Temperatura média e assimetria térmica pés em cada padrão de temperatura plantar, antes do estresse térmico .....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C.	Antes de Cristo
CAAE	Certificado de Apresentação para Apreciação Ética
DM	Diabete <i>Mellitus</i>
DM1	Diabetes <i>Mellitus</i> tipo 1
DM2	Diabetes <i>Mellitus</i> tipo 2
EMBC	<i>Engineering in Medicine and Biology Conference</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IMC	Índice de Massa Corporal
OMS	Organização Mundial da Saúde
ROI	<i>Region of Interest</i>
SBD	Sociedade Brasileira de Diabetes
T	Temperatura
$\Delta T$	Diferença de Temperatura
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
WHO	<i>World Health Organization</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1	JUSTIFICATIVA .....	13
1.2	HIPÓTESE .....	14
1.3	OBJETIVOS .....	14
1.3.1	Objetivo Geral .....	14
1.3.2	Objetivos Específicos .....	14
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
2.1	DIABETES <i>MELLITUS</i> .....	16
2.2	TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHO .....	21
2.3	TERMOGRAFIA E PÉ DIABÉTICO .....	26
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DE PESQUISA</b> .....	32
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	32
3.2	APROVAÇÃO DO PROJETO .....	33
3.3	PARTICIPANTES .....	33
3.4	PROCEDIMENTOS E INSTRUMENTOS .....	34
3.5	ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	38
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	39
4.1	CARACTERÍSTICAS DOS PARTICIPANTES .....	39
4.2	CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS .....	40
4.3	TEMPERATURA MÉDIA DOS PÉS E POR ROI .....	41
4.4	ASSIMETRIA TÉRMICA ENTRE OS PÉS E POR ROI .....	43
4.5	DIFERENÇA DE TEMPERATURA ENTRE CALCANHAR E DEDOS ..	44
4.6	MAIOR DIFERENÇA DE TEMPERATURA ENTRE OS DEDOS .....	45
4.7	PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO DA TEMPERATURA PLANTAR.....	47
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	51
5.1	CARACTERÍSTICAS DOS PARTICIPANTES .....	51
5.2	CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS .....	51
5.3	TEMPERATURA MÉDIA DOS PÉS E POR ROI .....	53
5.4	ASSIMETRIA TÉRMICA ENTRE OS PÉS E POR ROI .....	56
5.5	DIFERENÇA DE TEMPERATURA ENTRE CALCANHAR E DEDOS ..	57
5.6	MAIOR DIFERENÇA DE TEMPERATURA ENTRE OS DEDOS .....	59
5.7	PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO DA TEMPERATURA PLANTAR .....	61
5.8	LIMITAÇÕES DO ESTUDO .....	62
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	63
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	65
	<b>APÊNDICE A – RESUMO DE PUBLICAÇÃO</b> .....	82
	<b>APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO DE PARTICIPAÇÃO</b>	83
	<b>APÊNDICE C – FICHA DE ANAMNESE</b> .....	87

## 1 INTRODUÇÃO

O diabetes *mellitus* (DM) é um distúrbio metabólico que leva à hiperglicemia, devido a defeitos na produção e ou na ação da insulina, que atinge proporções epidêmicas. Em 2017, o Brasil ocupava o quarto lugar em número de diabéticos, com 12,5 milhões de pessoas com idade superior a 20 anos, e a estimativa é de que em 2045 o número seja de 20,3 milhões de brasileiros com esse distúrbio. A hiperglicemia persistente está relacionada a complicações micro e macrovasculares que podem levar ao surgimento de neuropatia, doença arterial periférica, retinopatia, nefropatia, além de doença cardiovascular e cerebrovascular (SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES, 2019).

Uma das complicações mais frequentes do DM é o surgimento de úlceras nos pés, que estão relacionadas ao aumento da morbidade e mortalidade da doença (EVERETT E MATHIOUDAKIS, 2018; VAN NETTEN *et al.*, 2016). A estimativa é de que entre 19% e 34% dos diabéticos apresentem úlceras nos pés ao longo da vida (ARMSTRONG *et al.*, 2017; EVERETT E MATHIOUDAKIS, 2018), o que pode levar à necessidade de amputação (GOYAL *et al.*, 2020; HINGORANI *et al.*, 2016; PETERS *et al.*, 2016).

Portanto, é de grande importância a adoção de medidas que previnam o surgimento de úlceras e diminuam o risco de complicações que levem à necessidade de amputação, e por isso, os pacientes diabéticos devem ter acompanhamento multiprofissional (DE SÁ GUIMARÃES *et al.*, 2018a; JEFFCOATE *et al.*, 2018; VOLMER-THOLE E LOBMANN, 2016).

Uma tecnologia, que pode ser útil na prevenção das complicações do pé diabético, é a termografia de infravermelho, uma vez que esse exame fornece imagens com a distribuição de temperatura da pele de forma rápida e sem contato (ADAM *et al.*, 2018a; HERNANDEZ-CONTRERAS *et al.*, 2017; ILO *et al.*, 2020a). Dessa forma, temperaturas anormais podem ser detectadas antes do surgimento de qualquer sinal de ulceração, como a elevação da temperatura em alguma região, o que pode estar relacionado a processos inflamatórios pré-ulcerativos (ARMSTRONG *et al.*, 2017; ILO *et al.*, 2020a; VAN NETTEN *et al.*, 2014; WIJLENS *et al.*, 2017).

Na maioria dos estudos a temperatura dos pés foi avaliada pela comparação da temperatura média de grupos distintos (ASTASIO-PICADO *et al.*, 2019; GATT *et al.*, 2018c; ILO *et al.*, 2020a; SIVANANDAM *et al.*, 2012; SUN *et al.*, 2006), ou por

meio da análise da assimetria térmica entre os pés (ILO *et al.*, 2020a; LIU *et al.*, 2015; PEREGRINA-BARRETO *et al.*, 2014; VAN NETTEN *et al.*, 2014; WIJLENS *et al.*, 2017).

Porém, poucos trabalhos se dedicaram à avaliação específica da temperatura dos dedos dos pés (BALBINOT *et al.*, 2012; GATT *et al.*, 2018b).

Dessa forma, considera-se relevante aprofundar as investigações em relação às diferenças relacionadas aos dedos dos pés, comparando indivíduos diabéticos e não diabéticos.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Na literatura há diversos estudos sobre o uso da termografia para avaliar o risco de complicações do pé diabético. Muitos deles analisaram a temperatura média dos pés, contudo, foram encontrados resultados conflitantes. Na comparação entre diabéticos e não diabéticos, alguns trabalhos observaram temperaturas dos pés mais altas nos diabéticos, atribuídas à neuropatia periférica (GATT *et al.*, 2018c; ILO *et al.*, 2020a; SUN *et al.*, 2006). Em outras pesquisas, os diabéticos apresentaram temperaturas mais baixas, relacionadas à doença arterial periférica (ASTASIO-PICADO *et al.*, 2019; PRADHAN E KARIYAPPA, 2016; SIVANANDAM *et al.*, 2012), porém, alguns pesquisadores observaram temperaturas mais elevadas nos pés de diabéticos com essa mesma complicação (CARABOTT *et al.*, 2019; GATT *et al.*, 2018a).

Diabéticos com diferentes tipos de complicações foram avaliados em algumas pesquisas, sendo observados resultados diversos sobre a temperatura dos pés (BAGAVATHIAPPAN *et al.*, 2010; SUN *et al.*, 2006; VAN NETTEN *et al.*, 2014; VAN NETTEN *et al.*, 2013).

A análise da assimetria térmica é muito utilizada e consiste na verificação da diferença de temperatura em regiões correspondentes dos dois pés que possam indicar o risco aumentado de ulceração (ILO *et al.*, 2020a; LIU *et al.*, 2015; VAN NETTEN *et al.*, 2014; WIJLENS *et al.*, 2017).

Contudo, esse tipo de análise apresenta algumas limitações. Uma delas se relaciona ao fato de não ser possível identificar diferenças de temperatura no caso de amputação parcial ou total de um dos membros, ou se regiões contralaterais dos dois pés apresentarem complicações similares. Outro problema, é que não existe um

padrão estabelecido para delimitação das regiões de interesse, uma vez que geralmente as marcações são feitas manualmente, podendo levar a diferentes resultados, dependendo do observador (LIU *et al.*, 2015).

Em um estudo foram avaliadas as diferenças de temperatura entre os dedos (anisotermia interdigital), sendo sugerido que uma diferença maior que 0,4°C poderia indicar o risco de complicações, porém, sem a apresentação de valores absolutos de temperatura (BALBINOT *et al.*, 2012).

Percebeu-se então, que seria interessante investigar outras formas de avaliação em que não fosse necessária a comparação de regiões contralaterais dos dois pés, ou seja, que permitissem a avaliação de cada pé separadamente, a fim de identificar diferenças relacionadas à temperatura dos dedos, entre diabéticos e não diabéticos.

## 1.2 HIPÓTESE

É possível, por meio do exame de termografia de infravermelho, identificar diferenças de temperatura entre diabéticos e não diabéticos utilizando análises de temperaturas relacionadas aos dedos dos pés.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Estudar a distribuição térmica da planta dos pés de indivíduos diabéticos (portadores de diabetes *mellitus*) e normoglicêmicos (não diabéticos) a fim de identificar diferenças entre os dois grupos.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Investigar correlações entre a temperatura da face (testa e olhos) com a temperatura dos pés de indivíduos diabéticos e não diabéticos;
- Avaliar a temperatura da planta dos pés, pela análise da temperatura média dos pés de diabéticos e não diabéticos;



- Avaliar a temperatura da planta dos pés, pela análise da assimetria térmica entre os pés de diabéticos e não diabéticos;
- Avaliar diferenças de temperatura relacionadas aos dedos dos pés de diabéticos e não diabéticos.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este estudo está organizado em seis capítulos. O primeiro consiste em uma introdução, com a justificativa e os objetivos do trabalho. O segundo capítulo contém um referencial teórico sobre pé diabético e a termografia de infravermelho. No terceiro, é descrita a metodologia adotada, com informações sobre os participantes, materiais e procedimentos, e análise dos dados. No quarto capítulo são apresentados os resultados da pesquisa, e no quinto, são discutidos os resultados. Finalmente, no sexto capítulo são descritas as principais conclusões do estudo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 DIABETES *MELLITUS*

O diabetes *mellitus* (DM) é um grave problema de saúde que vem crescendo ao redor do mundo, sendo uma das mais importantes causas de mortalidade prematura, atrás somente da hipertensão arterial e do tabagismo (SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES, 2019).

Os dois principais tipos de diabetes *mellitus* são o tipo 1 (DM1), e o tipo 2 (DM2). O DM1 é uma doença autoimune na qual ocorre a destruição das células  $\beta$  do pâncreas, levando à deficiência total na produção de insulina. Sua prevalência é de 5% a 10% dos casos de DM, atingindo principalmente, crianças e adolescentes. O DM2 é o mais comum, correspondendo entre 90% e 95% dos casos, e geralmente acomete pessoas a partir de 40 anos de idade, porém, há relatos de que sua incidência esteja aumentando em jovens e crianças (SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES, 2019). Suas causas envolvem fatores genéticos e ambientais, tais como sedentarismo e obesidade, e a presença de outras condições como hipertensão arterial e dislipidemia (FLOR E CAMPOS, 2017; SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES, 2019).

O pré-diabetes é uma condição na qual já existe resistência à insulina, estando os níveis glicêmicos acima dos valores considerados normais, mas ainda abaixo dos valores diagnósticos para DM. Na maioria dos casos, tanto o pré-diabetes quanto o DM não apresentam sintomas, devendo o diagnóstico ser feito por meio de exames laboratoriais, tais como o de glicemia de jejum, teste oral de tolerância à glicose e hemoglobina glicada, sendo que este último reflete os níveis de glicemia dos últimos três meses. Para pessoas com sintomas clássicos de hiperglicemia, tais como poliúria (aumento da produção de urina), polidipsia (sede excessiva), polifagia (fome excessiva) e emagrecimento, deve ser feito o exame de glicemia ao acaso, independentemente do jejum, que confirmará o DM, se o resultado for maior ou igual a 200 mg/dL (SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES, 2019).

Os valores de referência de exames laboratoriais para glicemia normal, pré-diabetes e DM, adotados pela Sociedade Brasileira de Diabetes (2019), são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Critérios laboratoriais para diagnóstico de normoglicemia, pré-diabetes e diabetes *mellitus*.

	<b>Glicemia após 8h de jejum (mg/dL)</b>	<b>Glicemia 2h após sobrecarga com 75g de glicose (mg/dL)</b>	<b>Glicemia ao acaso (mg/dL)</b>	<b>Hemoglobina glicada (%)</b>
Normoglicemia	< 100	< 140		< 5,7
Pré-diabetes	≥ 100 e <126	≥ 140 e < 200		≥ 5,7 e < 6,5
Diabetes <i>mellitus</i>	≥ 126	≥ 200	≥200 com sintomas de hiperglicemia	≥ 6,5

Fonte: Sociedade Brasileira de Diabetes (2019).

Uma das complicações graves do DM é o chamado pé diabético, que consiste da presença de infecção, ulceração e ou destruição dos tecidos profundos, associadas a distúrbios neurológicos ou doença arterial periférica nos membros inferiores (HERNANDEZ-CONTRERAS *et al.*, 2016; ZHANG *et al.*, 2017).

Diabéticos com úlceras nos pés apresentam o risco 2,5 vezes mais alto de ter morte precoce que aqueles sem úlceras (ARMSTRONG *et al.*, 2017; EVERETT E MATHIOUDAKIS, 2018), e em torno de 20% das infecções do pé diabético moderadas e severas levam a algum nível de amputação (ARMSTRONG *et al.*, 2017). Essa situação contribui para a elevação dos custos com tratamentos pelos serviços de saúde (EVERETT E MATHIOUDAKIS, 2018; JEFFCOATE *et al.*, 2018).

A hiperglicemia persistente leva a complicações vasculares, tanto em indivíduos com DM2 quanto DM1, aumentando o risco do surgimento de úlceras nos pés (DANEMAN, 2006; FIRESCU *et al.*, 2019; OU *et al.*, 2017). São considerados riscos, a presença de neuropatia periférica, com ou sem deformidade nos pés, ou doença arterial periférica, ou ainda, histórico de úlcera ou amputação (total ou parcial) do pé ou perna (VAN NETTEN *et al.*, 2016).

A neuropatia periférica acomete mais de 50% dos indivíduos com DM, e é uma das principais causas do surgimento de úlceras do pé diabético (SEEBRAT *et al.*, 2015; SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES, 2019; TESFAYE E SELVARAJAH, 2012).

A polineuropatia sensitivo-motora afeta as fibras nervosas finas, resultando em perda da sensibilidade à dor e à temperatura, e também compromete as fibras grossas causando desequilíbrio, o que eleva o risco de quedas. Em estágios mais avançados pode levar ao surgimento de deformidades nos pés devido à hipotrofia dos pequenos músculos dos pés, o que causa o desequilíbrio entre tendões flexores e extensores. A neuropatia autonômica, por sua vez, resulta em diminuição da

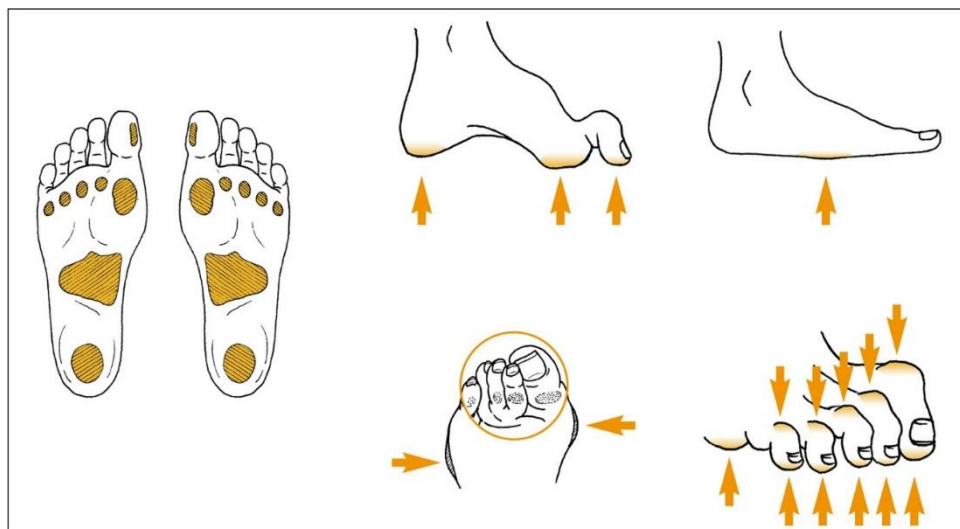
transpiração, tornando a pele seca e mais sujeita à formação de calosidades, com consequente maior risco de ulceração (BOULTON *et al.*, 2018; SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES, 2019).

Estima-se que em torno de 40% dos diabéticos com úlceras nos pés tenham doença arterial periférica, o que leva à cicatrização mais lenta e ao maior risco de amputação (EVERETT E MATHIOUDAKIS, 2018; SCHAPER *et al.*, 2016). A doença arterial periférica causa deficiência na perfusão sanguínea em membros inferiores, podendo levar ao surgimento de úlceras isquêmicas (FORSYTHE E HINCHLIFFE, 2016; GOYAL *et al.*, 2020). Quanto maior for o grau de isquemia, maior será o risco de amputação de membro (HINGORANI *et al.*, 2016).

Úlceras também podem ocorrer pela combinação de neuropatia e doença arterial periférica (MISHRA *et al.*, 2017; VOLMER-THOLE E LOBMANN, 2016).

A neuropatia periférica e a doença arterial periférica estão entre os fatores que predispõem à ulceração, porém, os principais gatilhos são traumas repetitivos (JEFFCOATE *et al.*, 2018; VOLMER-THOLE E LOBMANN, 2016), e também o aumento da pressão plantar, causado por deformidades nos pés ou instabilidade na marcha (YAZDANPANA *et al.*, 2015). O aumento da pressão plantar leva ao espessamento da pele (calosidade), o que contribui para o surgimento de úlceras (SCHAPER *et al.*, 2016). Portanto, algumas regiões dos pés apresentam maior risco de ulceração, conforme mostra a Figura 1 (SCHAPER *et al.*, 2020).

Figura 1 - Regiões dos pés com maior risco de ulceração.



Fonte: Schaper *et al.* (2020).

Na Figura 2 são apresentadas as principais vias de ulceração no pé diabético (ARMSTRONG *et al.*, 2017).

Figura 2 - Principais vias de ulceração no pé diabético.



Fonte: Adaptado de Armstrong *et al.* (2017).

As úlceras são classificadas em neuropáticas, isquêmicas e neuroisquêmicas (HINGORANI *et al.*, 2016; SCHAPER *et al.*, 2016; YAZDANPANAHA *et al.*, 2015). As puramente isquêmicas correspondem a 10% das úlceras, e a grande maioria tem como causa a neuropatia, sozinha ou associada à isquemia (SCHAPER *et al.*, 2016; YAZDANPANAHA *et al.*, 2015).

A Figura 3 apresenta a imagem de um pé com úlcera neuropática na região do hálux, onde é possível notar a presença de calosidade em torno da ferida (OLIVER E MUTLUOGLU, 2019).

Figura 3 - Exemplo de úlcera neuropática na região do hálux, com calosidade em torno da ferida.



Fonte: Oliver e Mutluoglu (2019).

Outros fatores de risco do surgimento de úlceras são a idade avançada e a maior duração do DM (BOULTON *et al.*, 2018; VOLMER-THOLE E LOBMANN, 2016; ZHANG *et al.*, 2017).

O mau controle glicêmico está diretamente relacionado ao maior risco de ulceração (LIM *et al.*, 2017; YAZDANPANAHA *et al.*, 2015). Uma das explicações é que níveis elevados de glicose sanguínea levam ao desenvolvimento de complicações microvasculares, causando lesões nos pequenos vasos que nutrem os nervos periféricos, o que contribui para o surgimento de neuropatia nos membros inferiores (FIRESCU *et al.*, 2019).

As úlceras do pé diabético causam impacto direto nas atividades dos indivíduos, diminuindo sua qualidade de vida (JEFFCOATE *et al.*, 2018), sendo fundamental a adoção de medidas de prevenção e detecção precoce que minimizem

o risco de complicações e a necessidade de amputações (LIM *et al.*, 2017; SCHAPER *et al.*, 2020).

A educação em diabetes é muito importante e deve ser feita por meio de informações estruturadas e repetitivas combinadas com intervenções preventivas que ampliem o conhecimento do paciente sobre os cuidados com os pés (JEFFCOATE *et al.*, 2018; MISHRA *et al.*, 2017).

Pacientes diabéticos devem ser assistidos por uma equipe multidisciplinar envolvendo profissionais tais como, médicos, enfermeiros, nutricionistas, fisioterapeutas, podiatras, dentre outros (EVERETT E MATHIOUDAKIS, 2018; LIM *et al.*, 2017; MISHRA *et al.*, 2017). Eles também necessitam de orientação sobre a importância do controle glicêmico e da prevenção de problemas cardiovasculares por meio de uma dieta adequada, atividade física regular, e abandono do tabagismo (MISHRA *et al.*, 2017). Além disso, devem estar cientes sobre a importância dos cuidados com os pés, tais como, realização de inspeções periódicas, uso de calçados confortáveis, higienização e hidratação adequadas, corte correto das unhas, e avaliação regular por um profissional de saúde (SCHAPER *et al.*, 2020).

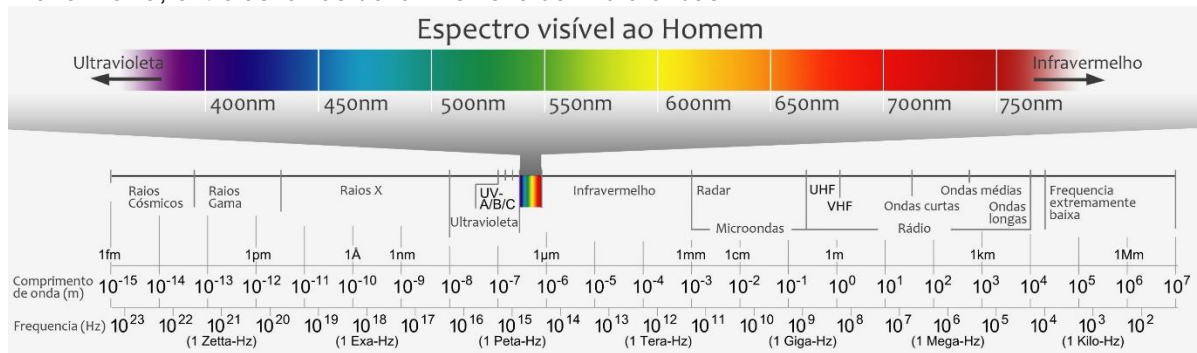
## 2.2 TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHO

A termografia de infravermelho é uma tecnologia que permite a detecção da radiação infravermelha emitida por um corpo, que está diretamente relacionada à emissão de calor, fornecendo um termograma ou imagem térmica contendo informações sobre a distribuição de temperatura do corpo (HERNANDEZ-CONTRERAS *et al.*, 2016; RING E AMMER, 2012).

A radiação infravermelha foi descoberta em 1800 por William Herschel e, em 1840, após sua morte, seu filho John Herschel prosseguiu com os experimentos, obtendo com sucesso uma imagem simples utilizando a radiação solar, ao que chamou de termograma, um termo utilizado até hoje para descrever uma imagem obtida a partir da radiação térmica (RING, 2007; RING, 2014).

A Figura 4 mostra uma ilustração do espectro eletromagnético onde é possível identificar a faixa de radiação infravermelha, com comprimento de onda na faixa de 0,75 a 1000  $\mu\text{m}$ , estando posicionada entre a faixa de luz visível e a de micro-ondas (BAGAVATHIAPPAN *et al.*, 2013; PINTO E ARANHA, 2018).

Figura 4 - Ilustração de parte do espectro eletromagnético, mostrando a faixa de radiação infravermelha, entre as faixas de luz visível e de micro-ondas.



Fonte: Pinto e Aranha (2018).

A termografia de infravermelho baseia-se no conceito de que qualquer objeto com temperatura acima do zero absoluto ( $-273^{\circ}\text{C}$ ), emite radiação infravermelha (radiação térmica). Por meio da lei de Stefan-Boltzmann, é possível calcular a energia radiante emitida por um objeto, que é diretamente proporcional à sua temperatura (HERNANDEZ-CONTRERAS *et al.*, 2016).

$$E = \varepsilon\sigma T^4$$

Onde:

E: fluxo radiante emitido por unidade de área ( $\text{W}/\text{m}^2$ );

$\varepsilon$ : emissividade do corpo;

$\sigma$ : constante de Stefan-Boltzmann ( $5,676 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\text{K}^4$ );

T: temperatura absoluta do corpo (K).

A energia emitida depende da emissividade do corpo, ou seja, da sua capacidade de emitir radiação, que está relacionada às propriedades de sua superfície. De acordo com a teoria da radiação térmica, o corpo negro é um objeto ideal hipotético que absorve toda a radiação que incide nele, então sua emissividade é igual à unidade. A emissividade de um objeto é obtida pela relação entre a energia emitida pela superfície do objeto e a energia emitida por um corpo negro, à mesma temperatura, cujo resultado será sempre menor que a unidade (HERNANDEZ-CONTRERAS *et al.*, 2016).

A pele humana é um eficiente emissor de radiação, com emissividade de 0,98, bem próxima à de um perfeito corpo negro (LAHIRI *et al.*, 2012; RING, 2007; SUDHA *et al.*, 2017).



Os primeiros detectores modernos de infravermelho foram desenvolvidos para fins militares, em meados do século XX (ROGALSKI, 2011) e, desde então, foram enormes os avanços tecnológicos que levaram ao aumento da sensibilidade dos sensores térmicos e da resolução espacial das câmeras, tornando esses dispositivos promissores para uso em diversas áreas (HERNANDEZ-CONTRERAS *et al.*, 2016; JIANG *et al.*, 2005).

Uma das vantagens dos sistemas de infravermelho, comparados a outras técnicas de medição de temperatura, é a possibilidade de aquisição de imagens de forma rápida, com um grande número de pixels, onde cada um deles representa a temperatura de um ponto específico (HERNANDEZ-CONTRERAS *et al.*, 2016; RING E AMMER, 2012; SUDHA *et al.*, 2017).

Uma das utilizações mais tradicionais das imagens térmicas refere-se ao monitoramento de edificações, instalações elétricas, máquinas e equipamentos, uma vez que temperaturas anormais podem indicar algum problema ou falha, e a termografia pode auxiliar nos procedimentos de manutenção desses sistemas (BAGAVATHIAPPAN *et al.*, 2013).

Na área médica, o interesse pela termografia iniciou-se nos anos 1950, quando foi utilizada pela primeira vez, como auxiliar no diagnóstico de câncer de mama, sendo observado que a temperatura da região do tumor era mais alta que a dos tecidos normais. Inicialmente, porém, a utilidade da termografia em algumas aplicações médicas não foi claramente demonstrada, devido ao baixo desempenho e alto custo das câmeras. Contudo, a partir dos anos 1990 ressurgiu o interesse pelo uso das imagens térmicas na área da saúde, devido ao desenvolvimento tecnológico das câmeras de infravermelho, do processamento de imagens e técnicas de análise, que permitiram a obtenção de informações mais precisas e confiáveis (JIANG *et al.*, 2005).

A temperatura corporal sempre foi um bom indicador das condições de saúde, sendo o primeiro registro sobre o uso da temperatura como diagnóstico feito por Hipócrates, em torno de 480 a.C. (JIANG *et al.*, 2005). Em condições normais, o corpo humano é homeotérmico, ou seja, mantém sua temperatura interna relativamente constante, por meio do equilíbrio entre a produção e a perda de calor (CHILDS, 2018).

A pele é a interface entre o corpo e o meio ambiente, e contribui com o sistema termorregulatório para a manutenção da homeostase (MORRISON E NAKAMURA, 2019; ROMANOVSKY, 2014). Logo, temperaturas anormais na pele podem indicar

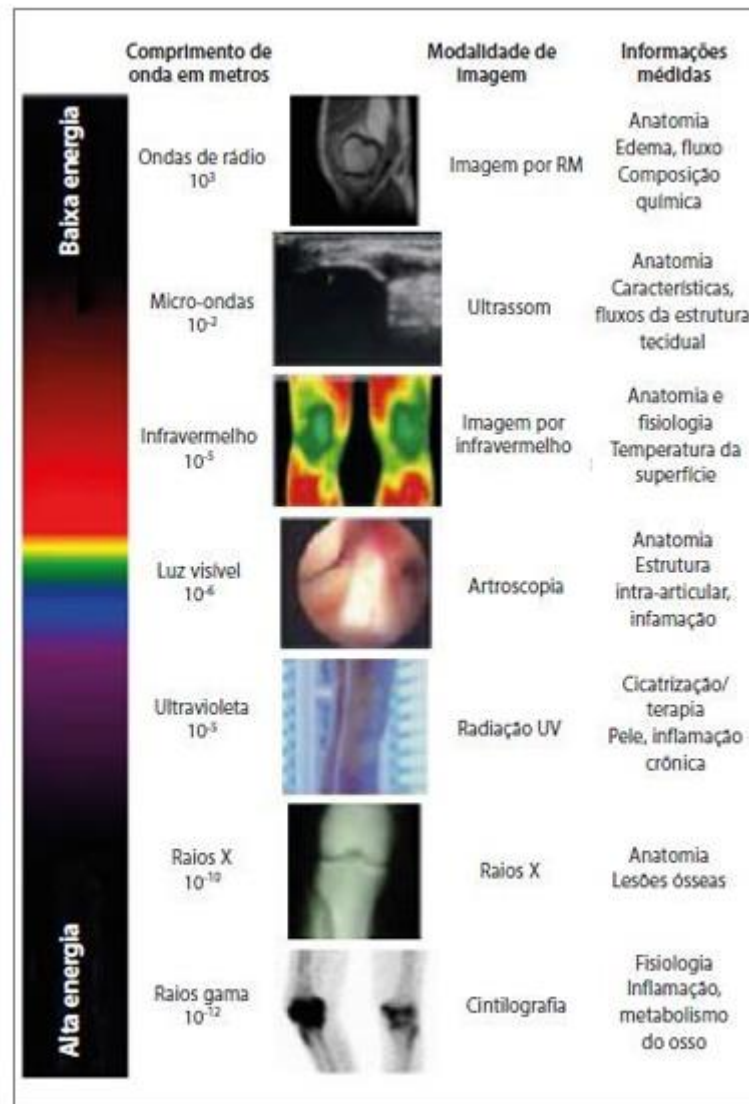
problemas de saúde, tais como, inflamações ou distúrbios circulatórios, e a termografia de infravermelho é capaz de identificar essas temperaturas (CHANMUGAM *et al.*, 2017; CRUZ-SEGURA *et al.*, 2019; ILO *et al.*, 2020a; LAHIRI *et al.*, 2017; RING E AMMER, 2012; SCHUSTER *et al.*, 2017).

A câmera de infravermelho detecta a energia térmica emitida naturalmente pelo corpo (ADAM *et al.*, 2018a; HERNANDEZ-CONTRERAS *et al.*, 2019), sendo um exame totalmente seguro, uma vez que não é emitida radiação ionizante pela câmera (ALFAYEZ *et al.*, 2020; DE MEIRA *et al.*, 2014), ao contrário de outras técnicas de imagens utilizadas na medicina, tais como, os raios-x e os raios gama, que oferecem riscos à saúde humana (XIE *et al.*, 2017).

Dessa forma, as imagens térmicas podem ser obtidas repetidas vezes ao longo do tempo (ILO *et al.*, 2020b; LAHIRI *et al.*, 2012; RING, 2010; SIVANANDAM *et al.*, 2013).

Na verdade, a termografia de infravermelho é mais uma das tecnologias do campo da engenharia biomédica, que fazem uso de diferentes faixas de frequência do espectro eletromagnético, como pode ser observado na Figura 5 (CÔRTE E HERNANDEZ, 2016; HILDEBRANDT *et al.*, 2010).

Figura 5 - Exames por imagem que utilizam diferentes faixas de frequência do espectro eletromagnético.



Fonte: Hildebrandt *et al.* (2010); Tradução: Côrte *et al.* (2016).

Diante das vantagens da termografia, vem aumentando as possibilidades de aplicação dessa tecnologia como auxiliar no diagnóstico e acompanhamento em diversas condições de saúde, tais como, câncer de mama (EKICI E JAWZAL, 2020; GARDUÑO-RAMÓN *et al.*, 2017; KANDLIKAR *et al.*, 2017; LUZ *et al.*, 2019; MORAIS *et al.*, 2016), câncer de tireoide (BAHRAMIAN E MOJRA, 2020; CAMARGO *et al.*, 2019), dores crônicas (BRIOSCHI *et al.*, 2015; BRIOSCHI *et al.*, 2009; BRITO *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2015; NAHM, 2013), doenças osteomusculares (DE TROTTA E ULBRICHT, 2015), lesões musculares (BANDEIRA *et al.*, 2012; BANDEIRA *et al.*, 2014), obesidade (NEVES *et al.*, 2017; NEVES *et al.*, 2018; SALAMUNES *et al.*, 2017), e pé diabético (CARABOTT *et al.*, 2019; GATT *et al.*, 2018c; HERNANDEZ-

CONTRERAS *et al.*, 2016; ILO *et al.*, 2020a; LIU *et al.*, 2015; MENDES *et al.*, 2015; VAN NETTEN *et al.*, 2014).

### 2.3 TERMOGRAFIA E PÉ DIABÉTICO

A temperatura das regiões periféricas do corpo humano depende dos processos de transferência de calor e da circulação sanguínea nos tecidos (VARDASCA *et al.*, 2012), o que torna a termografia de infravermelho um método útil para avaliar alterações de temperatura relacionadas à presença de neuropatia ou distúrbios vasculares relacionados ao pé diabético (CARABOTT *et al.*, 2019; GATT *et al.*, 2018c; HERNANDEZ-CONTRERAS *et al.*, 2016; LAHIRI *et al.*, 2012).

Em indivíduos saudáveis a distribuição de temperatura é simétrica, ou seja, regiões correspondentes do lado direito e esquerdo do corpo apresentam temperaturas similares (ILO *et al.*, 2020a; NAHM, 2013; VARDASCA *et al.*, 2012), e por isso, a análise de assimetrias térmicas é uma das técnicas mais utilizadas em estudos sobre termografia, uma vez que essas diferenças em regiões contralaterais podem indicar anormalidades (ALFAYEZ *et al.*, 2020; HERNANDEZ-CONTRERAS *et al.*, 2016; PAVITHRA *et al.*, 2018).

Estudos realizados com diabéticos revelaram que as assimetrias na planta dos pés são maiores à medida que as complicações tornam-se mais graves (ILO *et al.*, 2020a; VAN NETTEN *et al.*, 2014; VAN NETTEN *et al.*, 2013).

A análise da temperatura média também é utilizada para avaliar a planta dos pés, porém, na literatura há resultados variados e algumas vezes contraditórios sobre valores ou faixas de temperatura que possam indicar anormalidades (ASTASIO-PICADO *et al.*, 2019; GATT *et al.*, 2018a; GATT *et al.*, 2018c; ILO *et al.*, 2020a; PRADHAN E KARIYAPPA, 2016).

Outra forma de análise refere-se à avaliação da resposta do sistema termorregulatório a um estresse externo, que pode ser mecânico, como por exemplo, um período de caminhada ou corrida, ou um desafio térmico, pela imersão dos pés em água fria ou quente (HERNANDEZ-CONTRERAS *et al.*, 2016).

As temperaturas obtidas antes e após o teste são analisadas para avaliação da recuperação térmica, e alguns estudos observaram que a recuperação foi pior entre os diabéticos, quando comparados com indivíduos não diabéticos, tanto no teste

de estresse mecânico (BHARARA *et al.*, 2014; NAJAFI *et al.*, 2012), quanto no estresse térmico (BALBINOT *et al.*, 2012; BHARARA *et al.*, 2008a; b).

Quanto maior a diferença entre as temperaturas registradas antes e após o teste, pior será considerada a recuperação térmica (BHARARA *et al.*, 2008a).

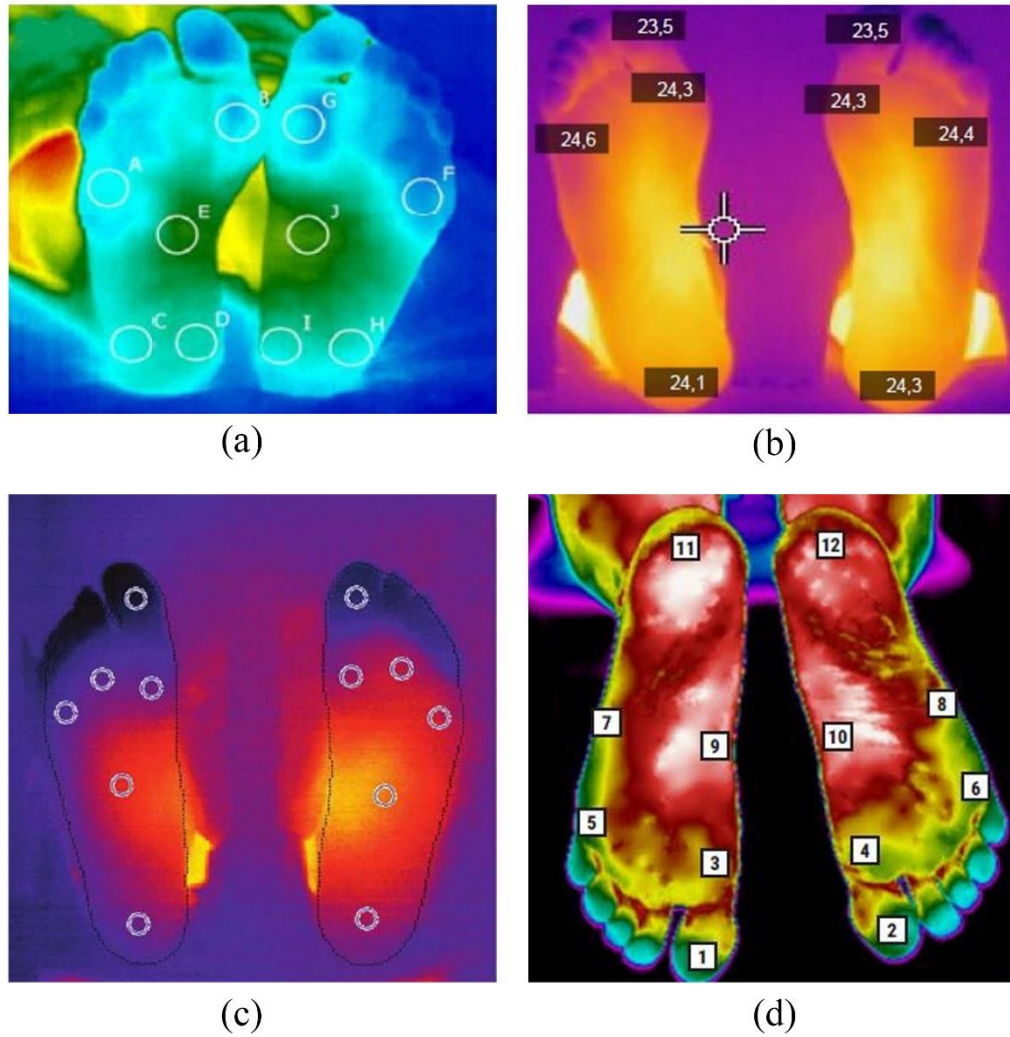
Alguns pesquisadores consideram a recuperação térmica normal, após o teste de estresse ao frio, se a temperatura obtida após o teste atingir 90% a 100% do valor da temperatura antes do teste (BALBINOT *et al.*, 2012; BALBINOT *et al.*, 2013). Contudo, esse tipo de teste pode causar desconforto em algumas pessoas (HERNANDEZ-CONTRERAS *et al.*, 2016).

Outro fator que pode afetar os resultados das avaliações das temperaturas da planta dos pés refere-se à escolha das regiões de interesse (ROI) que serão analisadas. Geralmente, entre as regiões selecionadas incluem-se o hálux, o calcanhar e a cabeça de alguns dos metatarsos (ASTASIO-PICADO *et al.*, 2018; DE SÁ GUIMARÃES *et al.*, 2018b; VAN NETTEN *et al.*, 2014).

Entretanto, em alguns estudos nenhum dos dedos foi avaliado (ILO *et al.*, 2020a), enquanto em outros, foram considerados somente alguns deles (BAYAREH *et al.*, 2018; NEVES *et al.*, 2015a; PETROVA *et al.*, 2018). Alguns pesquisadores analisaram os quatro últimos dedos como uma única região (BAGAVATHIAPPAN *et al.*, 2010; SUN *et al.*, 2006), e poucos trabalhos consideraram a temperatura de cada dedo separadamente (GATT *et al.*, 2018a; VARDASCA *et al.*, 2019). Dessa forma, são escassos os estudos que se dedicaram a analisar, especificamente, diferenças de temperatura relacionadas aos dedos dos pés (BALBINOT *et al.*, 2012; GATT *et al.*, 2018b; ZOLET *et al.*, 2019).

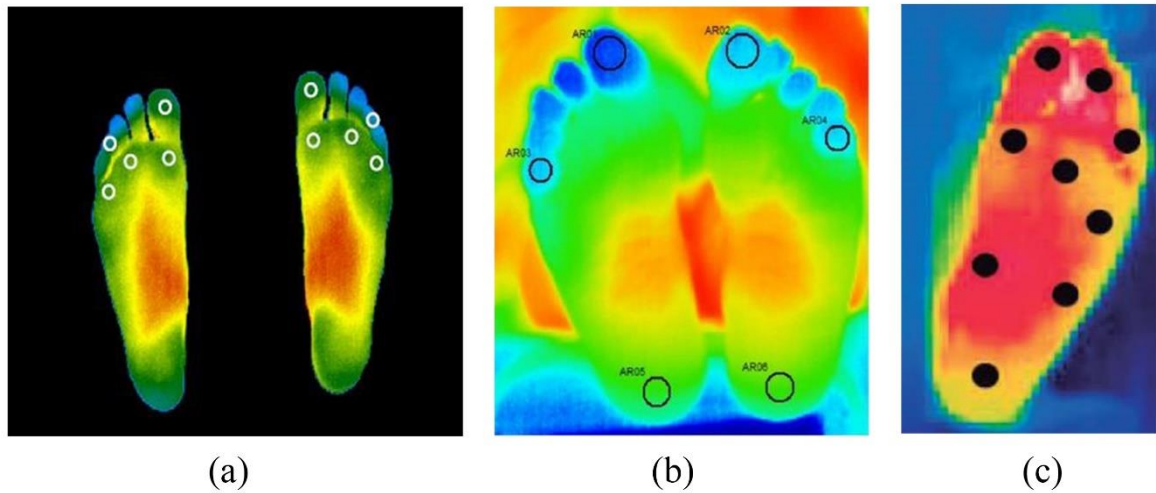
A Figura 6 mostra as imagens térmicas obtidas em alguns estudos, nos quais somente o hálux foi analisado, ou nenhum dos dedos. Na Figura 7 podem ser vistas algumas imagens em que foram avaliados pelo menos dois dedos, porém não todos eles. Por último, a Figura 8 apresenta imagens de estudos que avaliaram todos os cinco dedos, sendo que em um deles, os quatro últimos foram considerados como uma única região.

Figura 6 – Imagens térmicas com diferentes regiões de interesse selecionadas. (a) nenhum dedo foi considerado; (b), (c) e (d) somente o hálux foi considerado.



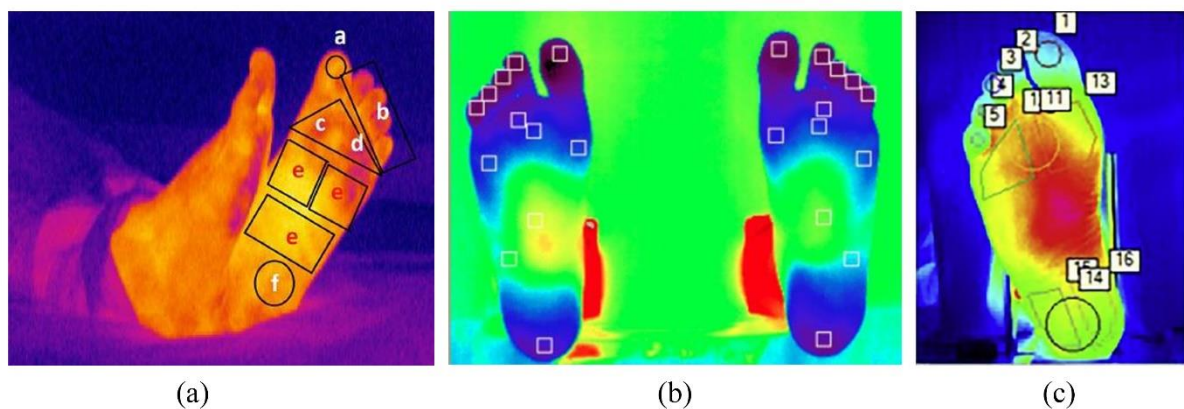
Fontes: (a) Ilo *et al.* (2020); (b) Astasio-Picado *et al.* (2018); (c) Van Netten *et al.* (2014); (d) de Sá Guimarães *et al.* (2018).

Figura 7 – Imagens térmicas com diferentes regiões de interesse selecionadas. (a) hálux e quarto dedo foram considerados; (b) hálux e quinto dedo foram considerados; (c) hálux, terceiro e quinto dedo foram considerados.



Fontes: (a) Petrova *et al.* (2018); (b) Neves *et al.* (2015); (c) Bayareh *et al.* (2018).

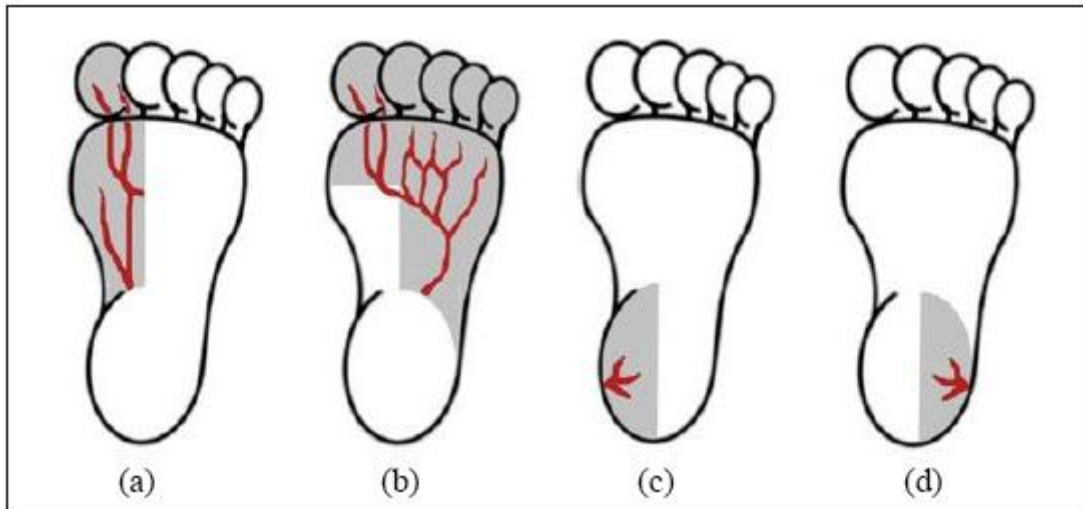
Figura 8 - Imagens térmicas com diferentes regiões de interesse selecionadas. (a) hálux e os quatro últimos dedos, sendo estes considerados como uma única região; (b) e (c) todos os dedos foram analisados, considerando cada um deles como uma região.



Fontes: (a) Bagavathiappan *et al.* (2010); (b) Vardasca *et al.* (2019); (c) Gatt *et al.* (2018).

Uma outra abordagem para análise da planta dos pés utiliza o conceito dos angiossomas, que são unidades compostas por tecidos nutridos por uma artéria específica. Na planta dos pés são considerados quatro angiossomas, como mostra a Figura 9: artéria plantar medial, artéria plantar lateral, artéria calcânea medial e artéria calcânea lateral, observando-se que os dois primeiros angiossomas se sobrepõem na região do hálux (NAGASE *et al.*, 2011).

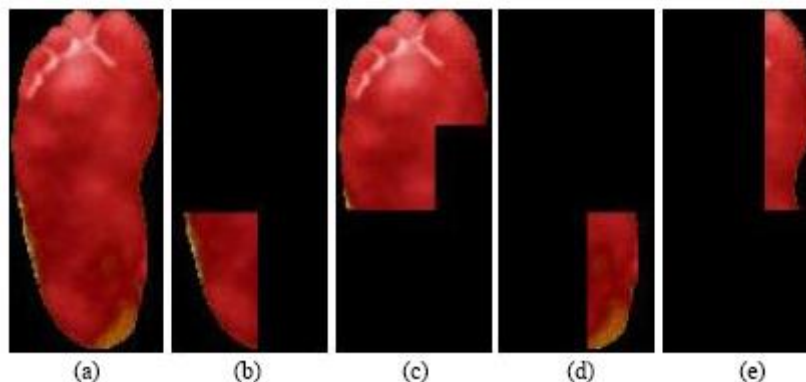
Figura 9 - Ilustração dos quatro angiossomas da planta dos pés: (a) artéria plantar medial; (b) artéria plantar lateral; (c) artéria calcânea medial; (d) artéria calcânea lateral.



Fonte: Nagase *et al.* (2011).

Nesse tipo de análise, a segmentação das imagens térmicas para seleção das regiões é realizada por meio de processos automatizados (HERNANDEZ-CONTRERAS *et al.*, 2019; PEREGRINA-BARRETO *et al.*, 2014), como exemplificado na Figura 10 (HERNANDEZ-CONTRERAS *et al.*, 2019).

Figura 10 - Exemplo de segmentação da planta dos pés de acordo com os angiossomas. (a) imagem térmica do pé; (b) angiossoma da artéria calcânea lateral; (c) angiossoma da artéria plantar lateral; (d) angiossoma da artéria calcânea medial; (e) angiossoma da artéria plantar medial.



Fonte: Hernandez-Contreras *et al.* (2019).

Estudos sobre o uso da termografia de infravermelho na avaliação de complicações do pé diabético iniciaram-se há bastante tempo, mas apesar disso, ainda existem lacunas a esclarecer nessa área, uma vez que as diversas técnicas de análise das temperaturas apresentam vantagens e desvantagens, e algumas vezes mostram resultados conflitantes.



Com o avanço tecnológico das câmeras termográficas, novos protocolos vêm sendo desenvolvidos, permitindo a obtenção de resultados cada vez mais precisos e confiáveis.

### 3 METODOLOGIA DE PESQUISA

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa caracteriza-se como exploratória, descritiva, quantitativa, com delineamento transversal (MARCONI E LAKATOS, 2010), em que se buscou comparar a temperatura dos pés de indivíduos diabéticos e não diabéticos, utilizando a termografia de infravermelho.

Com os dados coletados na fase inicial da pesquisa foi produzido um artigo científico, descrevendo os resultados obtidos com voluntários não diabéticos jovens. O artigo foi publicado nos anais do congresso internacional anual organizado pelo *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE): 41<sup>st</sup> Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, realizado em Berlin, Alemanha, em julho de 2019. Este estudo preliminar teve por objetivo definir quais regiões da planta dos pés seriam utilizadas no cálculo da temperatura média, e os resultados indicaram que cada dedo deveria ser considerado, e não somente o hálux, além da cabeça do primeiro, terceiro e quinto metatarsos, e o calcanhar. O resumo do artigo consta do APÊNDICE A.

O segundo trabalho consistiu da elaboração de um capítulo de livro sobre pé diabético, organizado pela Sociedade Brasileira de Diabetes (SBD), que ainda não foi publicado, estando em processo de revisão. No capítulo foram apresentados os fundamentos da termografia e importantes referenciais sobre sua aplicação para identificação precoce de complicações do pé diabético, bem como os resultados de um estudo preliminar com diabéticos, no qual foram analisadas a temperatura média e a assimetria térmica dos pés.

E o presente trabalho descreve detalhadamente a pesquisa envolvendo diferentes tipos de análises relacionadas à temperatura dos pés, a fim de comparar indivíduos diabéticos e não diabéticos: temperatura média geral e por região, assimetria térmica geral e por região, maior diferença de temperatura entre os dedos e diferença entre a temperatura do calcanhar e de cada dedo do pé.

### 3.2 APROVAÇÃO DO PROJETO

O projeto de pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, com CAAE de número 79365217.9.0000.5547 e parecer número 2.493.904 de 09/02/2018.

Todos os voluntários assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (APÊNDICE B), antes da participação na pesquisa.

### 3.3 PARTICIPANTES

Foi adotada uma amostragem não probabilística, com o número de participantes definido por conveniência, na comunidade em geral da Região Metropolitana de Curitiba-PR.

O recrutamento dos voluntários (diabéticos e não diabéticos) foi feito por meio da divulgação e apresentação dos objetivos do projeto em mídias digitais.

Critérios de inclusão para o grupo de diabéticos: indivíduos de ambos os gêneros, maiores de 18 anos de idade, com diagnóstico de diabetes *mellitus*.

Critérios de inclusão para o grupo de não diabéticos: indivíduos de ambos os gêneros, maiores de 18 anos de idade, sem diagnóstico prévio de diabetes e com glicemia ao acaso dentro dos valores de referência considerados normais.

Critérios de exclusão para ambos os grupos: presença de infecções, deformidades, lesões ou úlceras nos pés, histórico de amputação e gravidez.

Participaram do estudo 72 voluntários divididos em dois grupos, sendo o primeiro composto por 36 indivíduos com diabetes *mellitus* e o segundo grupo, por 36 indivíduos normoglicêmicos.

Considerando que tanto no DM2 quanto no DM1 há o risco do surgimento de úlceras nos pés (FIRESCU *et al.*, 2019), ambos os tipos de DM foram incluídos no estudo, para análise conjunta, a exemplo de outras pesquisas sobre termografia de infravermelho e pé diabético (ALIAHMAD *et al.*, 2019; ASTASIO-PICADO *et al.*, 2019; DE SÁ GUIMARÃES *et al.*, 2018a; ILO *et al.*, 2020a; LIU *et al.*, 2015; MORI *et al.*, 2013; NAGASE *et al.*, 2011; PETROVA *et al.*, 2020; PETROVA *et al.*, 2017; RENERO-C, 2018; SUDHA *et al.*, 2018; VAN DOREMALEN *et al.*, 2020; VAN NETTEN *et al.*, 2013; WIJLENS *et al.*, 2017; YAVUZ *et al.*, 2019).

### 3.4 PROCEDIMENTOS E INSTRUMENTOS

A pesquisa foi conduzida na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), no Laboratório de Ergonomia (LAERG), localizado na Av. Silva Jardim, 827, bloco V3, Curitiba-PR.

Os participantes de ambos os grupos (diabéticos e não diabéticos) foram submetidos aos mesmos procedimentos.

Inicialmente foi realizada uma anamnese abrangendo dados pessoais e clínicos (APÊNDICE C). Em seguida foi feita a avaliação antropométrica, consistindo da medição de massa corporal e estatura. A massa corporal foi obtida com o participante descalço e com roupas leves, utilizando-se uma balança digital portátil da marca EKS®, com capacidade máxima de 200 kg e precisão de 0,1 kg. A estatura foi determinada por meio de um estadiômetro portátil da marca WCS®, com trena retrátil de extensão até 3 m e precisão milimétrica. Para tanto, o indivíduo permaneceu descalço, posicionado em pé, ereto, com pernas e pés paralelos, braços estendidos ao longo do corpo e a cabeça posicionada no plano horizontal de Frankfurt, e a medição foi feita ao final de uma inspiração (DANTAS *et al.*, 2015).

Os valores de massa corporal (kg) e estatura (m) foram utilizados no cálculo do índice de massa corporal (IMC), por meio da fórmula:  $IMC = \text{massa}/\text{estatura}^2$  ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), para obtenção da classificação do estado nutricional dos participantes, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), conforme apresentado no Quadro 2 (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1995).

Quadro 2 – Classificação do estado nutricional segundo o índice de massa corporal.

<b>Índice de massa corporal (<math>\text{kg}/\text{m}^2</math>)</b>	<b>Classificação</b>
< 18,5	Magreza
$\geq 18,5$ e < 25,0	Eutrofia
$\geq 25,0$ e < 30,0	Sobrepeso
$\geq 30,0$ e < 35,0	Obesidade grau I
$\geq 35,0$ e < 40,0	Obesidade grau II
$\geq 40,0$	Obesidade grau III

Fonte: World Health Organization (1995).

Em seguida foi medida a glicemia capilar ao acaso, para obtenção de uma referência sobre o controle glicêmico dos participantes diabéticos, e também para

verificação do atendimento a um dos critérios de inclusão dos indivíduos não diabéticos, que deveriam apresentar glicemia dentro dos valores de referência para essa situação, ou seja, menor que 200 mg/dL (SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES, 2019).

Para medição da glicemia foi utilizado um glicosímetro digital portátil da marca *OneTouch Select Plus*<sup>®</sup> (Johnson & Johnson), com tiras reagentes e lancetas descartáveis da mesma marca. No procedimento foram seguidas todas as medidas de boas práticas de prevenção de infecções, com o uso de materiais descartáveis, incluindo a utilização de luvas de látex para coleta da gota de sangue. Após realizada a antissepsia da região com algodão embebido em álcool a 70% foi feita a punção na polpa do dedo médio com uma lanceta (CORDOVA *et al.*, 2009). A gota de sangue obtida foi imediatamente aspirada pela tira reagente do medidor e o dispositivo forneceu o resultado da medição em cinco segundos.

A próxima etapa da coleta de dados consistiu da aquisição das imagens térmicas dos voluntários. A fim de evitar alterações vasculares que pudessem modificar os padrões térmicos, os participantes foram orientados para que no dia do exame usassem roupas e sapatos confortáveis, evitassem exercícios físicos intensos, banhos muito quentes, massagens e outras terapias aplicadas na pele, cremes, loções e maquiagens, bebidas com cafeína e bebidas alcoólicas (FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2015).

A sala do exame foi mantida a uma temperatura de  $23\pm 1^{\circ}\text{C}$  (MACDONALD *et al.*, 2017; SIVANANDAM *et al.*, 2013), sem correntes de ar e sem a incidência direta de luz (BRIOSCHI *et al.*, 2007). Para monitoramento da temperatura e umidade do ambiente foi utilizado um termo-higrômetro digital da marca Incoterm<sup>®</sup>.

Antes de iniciar a aquisição das imagens, cada voluntário foi submetido a um período de 15 minutos de aclimatação, no próprio local do exame, a fim de que fosse obtido o equilíbrio entre a temperatura corporal e a do ambiente (ASTASIO-PICADO *et al.*, 2018; HERNANDEZ-CONTRERAS *et al.*, 2019). Para tanto, permaneceu confortavelmente sentado, com as pernas estendidas, mantendo relaxadas e descobertas as partes do corpo a serem examinadas (face e pés), sem adornos metálicos e sem contato com outras superfícies.

Em seguida, as imagens térmicas da pele foram capturadas, utilizando-se uma câmera termográfica de infravermelho da marca FLIR<sup>®</sup> E60, com faixa de temperatura de  $-20$  a  $650^{\circ}\text{C}$ , faixa espectral de 7,5 a 13  $\mu\text{m}$ , sensibilidade térmica

<0,05°C e resolução de imagem de 320 x 240 pixels. A emissividade foi ajustada em 0,98. A Figura 11 mostra o modelo de câmera de termografia utilizada na pesquisa (FLIR SYSTEMS, 2020).

Figura 11 - Câmera termográfica FLIR® E60.



Fonte: FLIR Systems (2020).

A câmera foi fixada perpendicularmente às regiões de interesse (ROI) do corpo, a uma distância de aproximadamente um metro. Para captura das imagens da planta dos pés, foi colocado, próximo à região dos tornozelos, um anteparo de Isopor®, a fim de bloquear a radiação térmica proveniente de outras partes do corpo e do ambiente, permitindo, dessa forma, melhor contraste entre os pés e o plano de fundo da imagem (HERNANDEZ-CONTRERAS *et al.*, 2019). A Figura 12 apresenta a imagem dos pés com o anteparo para isolar a temperatura da planta dos pés.

Figura 12 – Posicionamento dos pés, com anteparo na região dos tornozelos para bloquear radiação térmica proveniente de outras partes do corpo.

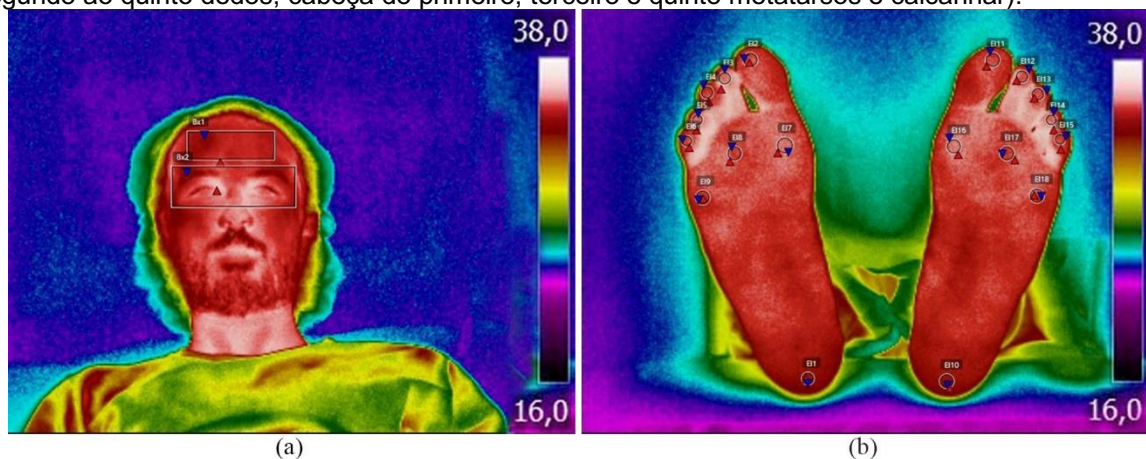


Fonte: Autoria própria.

Iniciou-se com a aquisição da imagem da face e em seguida, da primeira imagem da planta dos pés. Na sequência, os pés foram submetidos a um teste de estresse ao frio (*cold stress test*), que consistiu da imersão dos pés protegidos por um plástico fino impermeável, em um recipiente revestido internamente com uma capa plástica descartável, com água fria a 15°C, durante um minuto (BALBINOT *et al.*, 2012). A temperatura da água foi monitorada com um termômetro digital tipo espeto da marca Incoterm®. Uma nova imagem dos pés foi capturada dez minutos após a retirada da água.

As imagens térmicas foram analisadas com a utilização do software FLIR Tools®, fornecido pelo fabricante da câmera de termografia. Na face foram avaliadas as temperaturas da testa e olhos, e na planta dos pés foram selecionadas nove regiões (hálux, segundo ao quinto dedos, cabeça do primeiro, terceiro e quinto metatarsos e calcanhar), sendo registradas as temperaturas mínima, média e máxima de cada região. A temperatura média da planta dos pés foi calculada pela média aritmética das temperaturas das nove regiões selecionadas. Na Figura 13 podem ser visualizadas as ROI avaliadas na face (a) e na planta dos pés (b).

Figura 13 - Regiões de interesse analisadas. (a) face (testa e olhos), e (b) planta dos pés (hálux, segundo ao quinto dedos, cabeça do primeiro, terceiro e quinto metatarsos e calcanhar).



Fonte: Autoria própria.

### 3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram analisados por meio do software IBM® SPSS® Statistics (versão 21). Inicialmente foram feitos testes de normalidade por meio do teste Shapiro-Wilk, uma vez que apresenta maior sensibilidade (AHAD *et al.*, 2011; RAZALI E WAH, 2011). Os resultados indicaram que a distribuição dos dados não era normal. Além disso, o teste de Levene mostrou que não havia homogeneidade de variâncias nos grupos. Considerando ainda que as amostras dos dois grupos eram relativamente pequenas, com pouco mais de 30 participantes em cada um deles, a opção mais acertada seria realizar as análises por meio de testes não paramétricos, que têm maior poder estatístico quando os dados não apresentam distribuição normal (NAHM, 2016).

Dessa forma, na comparação entre dois grupos de amostras independentes (diabéticos e não diabéticos) foram utilizados os testes de Mann-Whitney (comparação de duas amostras), e Kruskal-Wallis (comparação de mais de duas amostras). Quando foram comparados dois grupos de amostras relacionadas (diabéticos ou não diabéticos separadamente), foi aplicado o teste de Wilcoxon.

Para investigar possíveis correlações entre variáveis, foi utilizado o teste não paramétrico de Spearman, que é o mais indicado quando os dados não apresentam distribuição normal e não há relação linear entre as variáveis (SCHOBER *et al.*, 2018). Além disso, esse teste não é afetado pela presença de *outliers*, demonstrando robustez e alta eficiência estatística (CROUX E DEHON, 2010).

Os resultados da análise descritiva dos dados demográficos, antropométricos, glicemia e temperaturas da pele foram apresentados por meio da mediana (1°- 3° quartis). Por sua vez, os dados categóricos foram apresentados em frequência absoluta (n) e frequência relativa (%).

O nível de significância foi assumido em 5% ( $p < 0,05$ ).

Nas análises referentes à assimetria térmica foi considerada a amostra de 72 participantes (36 diabéticos e 36 não diabéticos). Por outro lado, nas análises da temperatura média, maior diferença de temperatura entre os dedos, e diferença entre a temperatura do calcanhar e dedos, cada pé foi avaliado separadamente, totalizando 144 casos (72 de diabéticos e 72 de não diabéticos).



## 4 RESULTADOS

### 4.1 CARACTERÍSTICAS DOS PARTICIPANTES

Foram avaliados 72 voluntários de ambos os gêneros, sendo 22 (30,6%) homens e 50 (69,4%) mulheres. A Tabela 1 apresenta as características descritivas dos participantes.

No grupo de diabéticos, 33 (92%) eram do tipo 2 e somente três (8%) eram diabéticos tipo 1. A mediana da duração da doença foi de cinco anos, variando de um a 35 anos, com primeiro e terceiro quartis, de respectivamente, 2 e 15 anos. Somente cinco diabéticos haviam descoberto a doença há mais de 20 anos, todos com DM2. Não foram observadas diferenças significativas nas variáveis térmicas, de acordo com o tempo de duração da doença, nas faixas com pontos de corte de 5, 10, 15, 20 e 30 anos, utilizando o teste de Kruskal-Wallis.

Os grupos estavam homogêneos quanto ao número de participantes, gênero e índice de massa corporal (IMC), ambos na faixa de sobrepeso (IMC maior ou igual a 25 kg/m<sup>2</sup> e menor que 30,0 kg/m<sup>2</sup>).

Na idade, porém, foi observada diferença significativa entre diabéticos e não diabéticos. Analisando cada grupo com o teste de Kruskal-Wallis, nas faixas de idade de 40, 50, 60 e 70 anos, não foram observadas diferenças significativas nas variáveis referentes às temperaturas da pele.

Como esperado, a glicemia aleatória, ou seja, aquela obtida sem considerar o horário da última refeição, estava significativamente mais alta no grupo de diabéticos, sendo 481 mg/dL o valor máximo observado nesse grupo. Por outro lado, no grupo de não diabéticos, a maior glicemia foi 132 mg/dL.

Dentre os diabéticos, 19 (52,8%) relataram ter hipertensão arterial, enquanto somente oito (22,2%) não diabéticos afirmaram ter essa doença.

Por sua vez, colesterol elevado foi referido por 24 (66,7%) diabéticos e seis (16,7%) não diabéticos.

Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, na temperatura média da testa e máxima dos olhos.

Tabela 1 – Teste de Mann-Whitney referente às características descritivas dos participantes (n=72), apresentadas pela mediana (1°- 3° quartis), Curitiba-PR, 2020.

Variável	Diabéticos (n=36)	Não diabéticos (n=36)	p-valor
Idade (anos)	61 (55- 68)	59 (45- 61)	0,030*
Gênero (masc./fem.) - n (%)	10 (28%) / 26 (72%)	12 (33%) / 24 (67%)	0,611
Índice de massa corporal (kg/m <sup>2</sup> )	27,00 (24,10- 29,18)	26,77 (24,54- 29,14)	0,892
Glicemia capilar (mg/dL)	131 (106- 257)	102 (95- 110)	0,000**
T média testa (°C)	34,05 (33,53- 34,68)	34,40 (33,23- 34,78)	0,307
T máxima olhos (°C)	36,10 (35,63- 36,28)	36,10 (35,60- 36,58)	0,446

Fonte: Autoria própria.

T: temperatura; \*: p<0,05; \*\*: p<0,01

## 4.2 CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS

Foram investigadas, em cada grupo, possíveis correlações entre as variáveis idade, temperatura média da testa, temperatura máxima dos olhos, temperatura média dos pés antes do estresse térmico, e assimetria térmica entre os pés antes do teste com frio, e os resultados constam das Tabelas 2 e 3, respectivamente, no grupo de diabéticos e não diabéticos.

É possível observar que a correlação entre a temperatura média da testa e máxima dos olhos (canto interno dos olhos) foi maior no grupo de não diabéticos.

A idade, por sua vez, mostrou correlação negativa e moderada com a temperatura da testa, no grupo de diabéticos, e correlação positiva e moderada com a temperatura dos olhos, entre os não diabéticos. Além disso, nesse grupo foi revelada correlação negativa e moderada entre a idade e a assimetria térmica entre os pés (antes do estresse térmico). Por outro lado, no grupo de diabéticos foi observada correlação positiva e moderada entre a temperatura da testa e a temperatura média dos pés (antes do estresse térmico).

Em nenhum dos grupos foi observada correlação entre a temperatura média dos pés e a assimetria térmica entre os pés, obtidas antes do estresse térmico.

Tabela 2 – Teste de correlação de Spearman ( $\rho$ ) entre as variáveis idade, temperatura média da testa, temperatura máxima dos olhos, temperatura média dos pés (antes do estresse térmico) e assimetria térmica entre os pés (antes do estresse térmico), no grupo de diabéticos (n=36), Curitiba-PR, 2020.

Variáveis	Idade	T média testa	T máxima olhos	T média pés pré-estresse	Assimetria pés pré-estresse
Idade	1,000	-0,492**	-0,135	-0,164	-0,039
T média testa		1,000	0,407*	0,355**	-0,254
T máxima olhos			1,000	0,305	-0,186
T média pés pré-estresse				1,000	-0,240
Assimetria pés pré-estresse					1,000

Fonte: Autoria própria.

T: temperatura; \*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$

Tabela 3 – Teste de correlação de Spearman ( $\rho$ ) entre as variáveis idade, temperatura média da testa, temperatura máxima dos olhos, temperatura média dos pés (antes do estresse térmico) e assimetria térmica entre os pés (antes do estresse térmico), no grupo de não diabéticos (n=36), Curitiba-PR, 2020.

Variáveis	Idade	T média testa	T máxima olhos	T média pés pré-estresse	Assimetria pés pré-estresse
Idade	1,000	0,257	0,367*	-0,078	-0,365*
T média testa		1,000	0,699**	0,152	-0,297
T máxima olhos			1,000	0,166	-0,209
T média pés pré-estresse				1,000	0,056
Assimetria pés pré-estresse					1,000

Fonte: Autoria própria.

T: temperatura; \*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$

#### 4.3 TEMPERATURA MÉDIA DOS PÉS E POR ROI

Na Tabela 4 podem ser observados os resultados referentes às temperaturas médias (geral e de cada ROI), antes do teste de estresse ao frio, onde cada pé foi avaliado separadamente. Não foram observadas diferenças significativas entre os grupos.

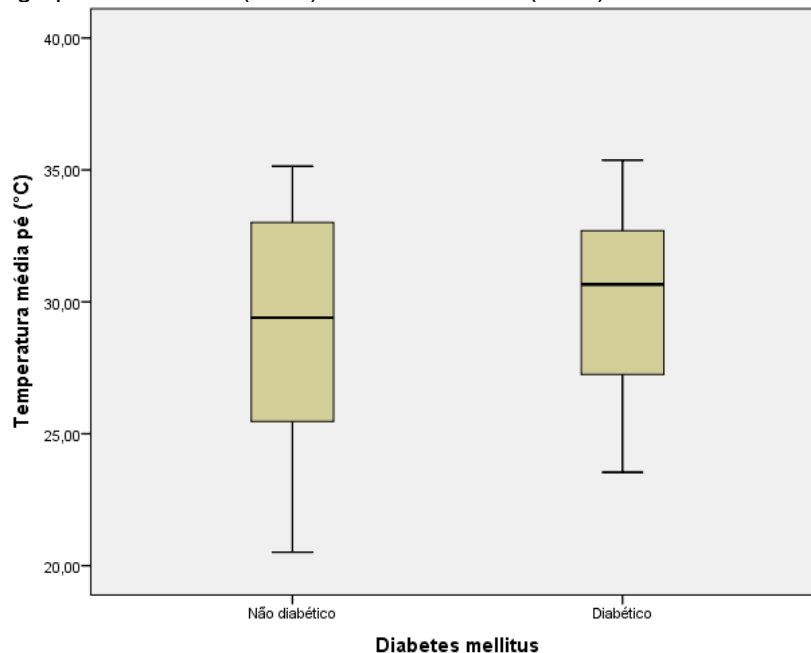
Tabela 4 – Teste de Mann-Whitney referente às temperaturas média do pé e por região de interesse (n=144), antes do estresse térmico, apresentadas pela mediana (1° - 3° quartis), Curitiba-PR, 2020.

Variável	Diabéticos (n= 72)	Não diabéticos (n=72)	p valor
Temperatura média pé (°C)	30,66 (27,21- 32,71)	29,40 (25,45- 33,06)	0,312
Calcanhar (°C)	29,10 (26,73- 30,98)	28,10 (25,98- 31,28)	0,566
Hálux (°C)	32,10 (28,08- 33,38)	29,05 (24,53- 33,88)	0,174
2° dedo (°C)	31,05 (26,63- 33,00)	28,25 (24,03- 33,18)	0,208
3° dedo (°C)	31,25 (26,48- 33,28)	28,70 (24,03- 33,15)	0,169
4° dedo (°C)	29,90 (26,88-32,80)	28,70 (24,43- 33,25)	0,263
5° dedo (°C)	29,95 (26,90- 32,60)	29,10 (24,83- 33,28)	0,344
Cabeça 1° metatarso (°C)	30,90 (27,70- 33,08)	30,25 (26,83- 33,23)	0,310
Cabeça 3° metatarso (°C)	30,35 (27,65- 32,80)	30,35 (26,73- 33,30)	0,601
Cabeça 5° metatarso (°C)	30,30 (27,33- 32,45)	29,30 (26,20- 32,88)	0,465

Fonte: Autoria própria.

O Gráfico 1 apresenta os diagramas de caixa (*boxplot*) referentes à temperatura média do pé, antes do estresse térmico, nos dois grupos (diabéticos e não diabéticos).

Gráfico 1 – Diagramas de caixa (*boxplot*), referentes à temperatura média do pé, antes do estresse térmico, nos dois grupos: diabéticos (n=72) e não diabéticos (n=72).



Fonte: Autoria própria.

#### 4.4 ASSIMETRIA TÉRMICA ENTRE OS PÉS E POR ROI

Na Tabela 5 são apresentados os valores de assimetria térmica, tanto da assimetria na temperatura média dos pés, quanto as observadas em cada região, antes do estresse térmico. A assimetria entre os pés foi significativamente maior no grupo de diabéticos, o que ocorreu também na maioria das ROI analisadas.

Tabela 5 – Teste de Mann-Whitney referente às assimetrias térmicas da temperatura média dos pés e por região de interesse (n=72), antes do estresse térmico, apresentadas pela mediana (1°- 3° quartis), Curitiba-PR, 2020.

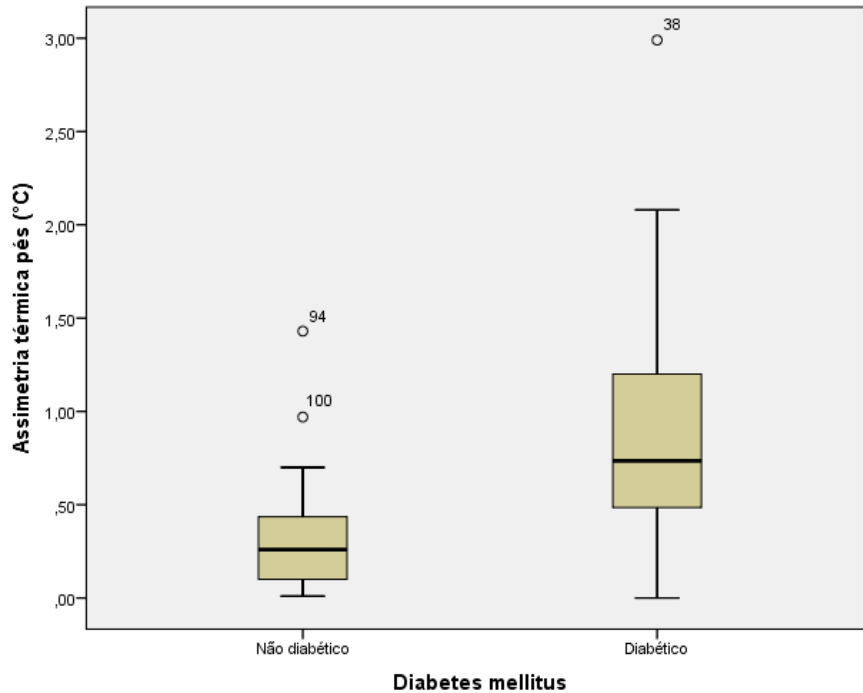
Variável	Diabéticos (n=36)	Não diabéticos (n=36)	p valor
Assimetria térmica T média pés (°C)	0,74 (0,48- 1,26)	0,26 (0,10- 0,44)	0,000*
Calcânhar (°C)	0,60 (0,20- 1,48)	0,35 (0,13- 0,58)	0,079
Hálux (°C)	0,75 (0,33- 1,20)	0,25 (0,10- 0,78)	0,006*
2° dedo (°C)	0,75 (0,30- 1,30)	0,30 (0,10- 0,68)	0,002*
3° dedo (°C)	0,75 (0,40- 1,20)	0,40 (0,10- 0,68)	0,001*
4° dedo (°C)	0,65 (0,30- 1,63)	0,45 (0,30- 0,70)	0,154
5° dedo (°C)	0,60 (0,40- 1,30)	0,55 (0,20- 0,98)	0,271
Cabeça 1° metatarso (°C)	0,70 (0,20- 1,28)	0,30 (0,13- 0,58)	0,004*
Cabeça 3° metatarso (°C)	0,75 (0,20- 1,50)	0,30 (0,13- 0,58)	0,004*
Cabeça 5° metatarso (°C)	1,00 (0,50- 1,48)	0,40 (0,20- 0,78)	0,000*

Fonte: Autoria própria.

T: temperatura; \*:  $p < 0,01$

O Gráfico 2 mostra os diagramas de caixa (*boxplot*) referentes à assimetria da temperatura média dos pés, antes do estresse térmico, nos dois grupos (diabéticos e não diabéticos).

Gráfico 2 – Diagramas de caixa (*boxplot*), referentes à assimetria térmica entre os pés, antes do estresse térmico, nos dois grupos: diabéticos (n=36) e não diabéticos (n=36).



Fonte: Autoria própria.

#### 4.5 DIFERENÇA DE TEMPERATURA ENTRE CALCANHAR E DEDOS

Na Tabela 6 constam os resultados da diferença de temperatura entre o calcanhar e cada dedo do pé, nos dois grupos, antes do estresse térmico, sendo cada pé avaliado separadamente. Com exceção do quinto dedo, foram observadas diferenças significativas entre os grupos, e as temperaturas de todos os dedos dos diabéticos estavam mais altas que a do calcanhar, com a diferença variando de 0,8°C a 1,7°C, sendo a maior diferença observada no hálux. Entretanto, no grupo de não diabéticos, somente o hálux apresentou temperatura mais alta que o calcanhar, com diferença de 0,65°C, e nos demais dedos, a diferença foi pequena, de no máximo 0,2°C, para mais ou para menos.

Tabela 6 – Teste de Mann-Whitney referente às diferenças de temperatura entre calcanhar e cada dedo do pé (n=144), antes do estresse térmico, apresentadas pela mediana (1°- 3° quartis), Curitiba-PR, 2020.

Variável	Diabéticos (n= 72)	Não diabéticos (n=72)	p valor
ΔT calcanhar-hálux (°C)	-1,70 (-3,40- 0,08)	-0,65 (-1,98- 1,30)	0,005**
ΔT calcanhar-2° dedo (°C)	-1,00 (-2,30- 1,40)	0,15 (-1,53- 1,78)	0,014*
ΔT calcanhar-3° dedo (°C)	-0,85 (-2,58- 1,00)	0,00 (-1,40- 1,68)	0,012*
ΔT calcanhar-4° dedo (°C)	-0,80 (-2,28- 1,05)	-0,05 (-1,30- 1,50)	0,028*
ΔT calcanhar-5° dedo (°C)	-0,85 (-2,20- 0,78)	-0,20 (-1,20- 1,43)	0,059

Fonte: Autoria própria.

ΔT: diferença de temperatura; \*: p<0,05; \*\*: p<0,01

#### 4.6 MAIOR DIFERENÇA DE TEMPERATURA ENTRE OS DEDOS

A Tabela 7 contém os resultados da comparação entre os dois grupos (diabéticos e não diabéticos), por meio do teste de Mann-Whitney, quanto à maior diferença de temperatura entre os dedos, ou seja, a diferença entre as temperaturas do dedo mais quente e do mais frio, antes e após o estresse térmico, sendo cada pé avaliado separadamente.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados das mesmas análises, porém, sem considerar o hálux. Nesse caso, foram registrados valores menores que nas análises feitas com todos os dedos.

De qualquer forma, os diabéticos apresentaram valores significativamente maiores que os não diabéticos em todas as análises.

Tabela 7 – Teste de Mann-Whitney referente à maior diferença de temperatura entre os dedos (diferença entre as temperaturas do dedo mais quente e mais frio), avaliando cada pé separadamente (n=144), antes e após o estresse térmico, apresentadas pela mediana (1°- 3° quartis), Curitiba-PR, 2020.

Variável	Diabéticos (n= 72)	Não diabéticos (n=72)	p valor
ΔT entre dedos pré-estresse	1,40 (0,90- 2,08)	0,90 (0,60- 1,50)	0,000*
ΔT entre dedos pós-estresse	1,85 (1,00- 3,30)	0,95 (0,70- 1,48)	0,000*

Fonte: Autoria própria.

ΔT: diferença de temperatura; \*: p<0,01

Tabela 8 – Teste de Mann-Whitney referente à maior diferença de temperatura entre os dedos (diferença entre as temperaturas do dedo mais quente e mais frio), desconsiderando o hálux e avaliando cada pé separadamente (n=144), antes e após o estresse térmico, apresentadas pela mediana (1°- 3° quartis), Curitiba-PR, 2020.

Variável	Diabéticos (n= 72)	Não diabéticos (n=72)	p valor
$\Delta T$ entre dedos (sem hálux) pré-estresse	0,95 (0,70- 1,60)	0,60 (0,50- 0,98)	0,000*
$\Delta T$ entre dedos (sem hálux) pós-estresse	1,00 (0,60- 1,70)	0,80 (0,50- 1,20)	0,007*

Fonte: Autoria própria.

$\Delta T$ : diferença de temperatura; \*:  $p < 0,01$

A comparação da maior diferença de temperatura entre os dedos, antes e após o estresse térmico, também foi feita em cada grupo separadamente, por meio do teste de Wilcoxon (amostras relacionadas). Como resultado, no grupo de diabéticos, a diferença de temperatura foi significativamente maior após o teste com frio, enquanto entre os não diabéticos, não foi observada diferença significativa antes e após o estresse térmico, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9 – Teste de Wilcoxon (em cada grupo) referente à maior diferença de temperatura entre os dedos (diferença entre as temperaturas do dedo mais quente e mais frio), avaliando cada pé separadamente (n=144), antes e após o estresse térmico, apresentadas pela mediana (1°- 3° quartis), Curitiba-PR, 2020.

Grupo	$\Delta T$ dedos pré-estresse (°C)	$\Delta T$ dedos pós-estresse (°C)	p valor
Diabéticos (n= 72)	1,40 (0,90- 2,08)	1,85 (1,00- 3,30)	0,018*
Não diabéticos (n=72)	0,90 (0,60- 1,50)	0,95 (0,70- 1,48)	0,242

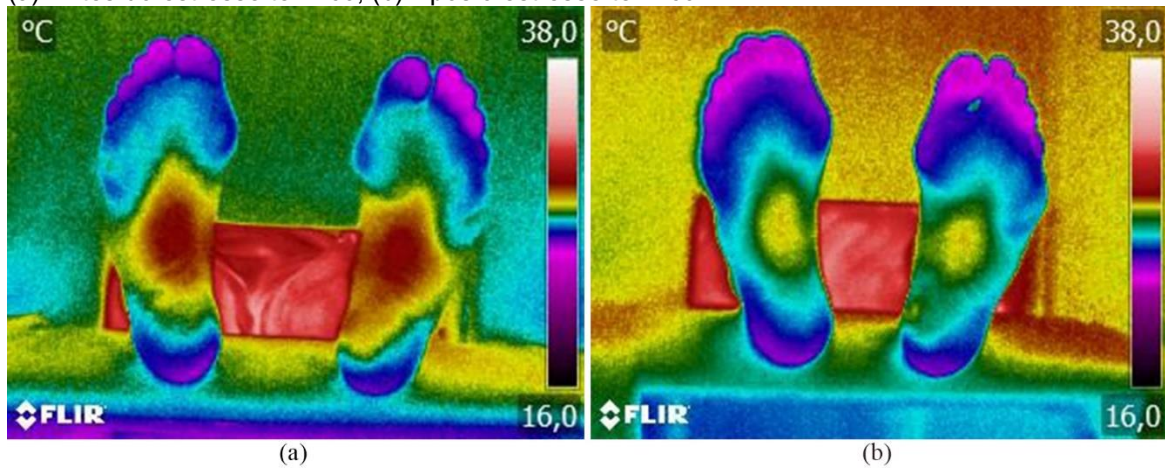
Fonte: Autoria própria.

$\Delta T$ : diferença de temperatura; \*:  $p < 0,05$

A Figura 14 mostra um exemplo de pés de um indivíduo não diabético, onde é possível notar que os pés apresentam simetria térmica e temperaturas similares nos dedos, tanto antes (a), quanto após o teste com frio (b). Por outro lado, na Figura 15, com imagens de um participante diabético, são perceptíveis tanto antes (a), quanto após o teste com frio (b), assimetrias térmicas em várias regiões e maiores diferenças de temperatura entre os dedos.

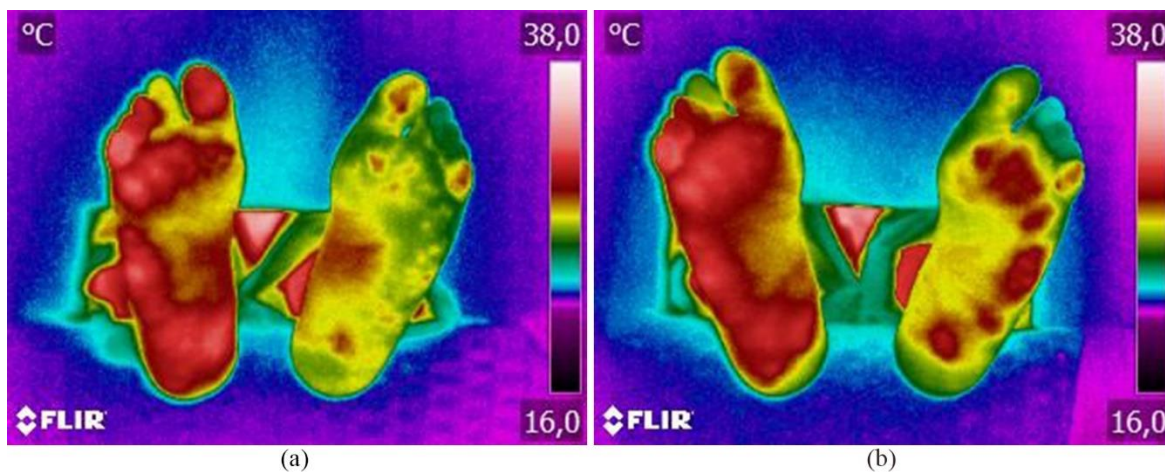


Figura 14 - Pés de um indivíduo não diabético com simetria térmica e temperaturas similares nos dedos: (a) Antes do estresse térmico; (b) Após o estresse térmico.



Fonte: Autoria própria.

Figura 15 - Pés de um indivíduo diabético com assimetrias térmicas e maiores diferenças de temperatura entre os dedos: (a) Antes do estresse térmico; (b) Após o estresse térmico.

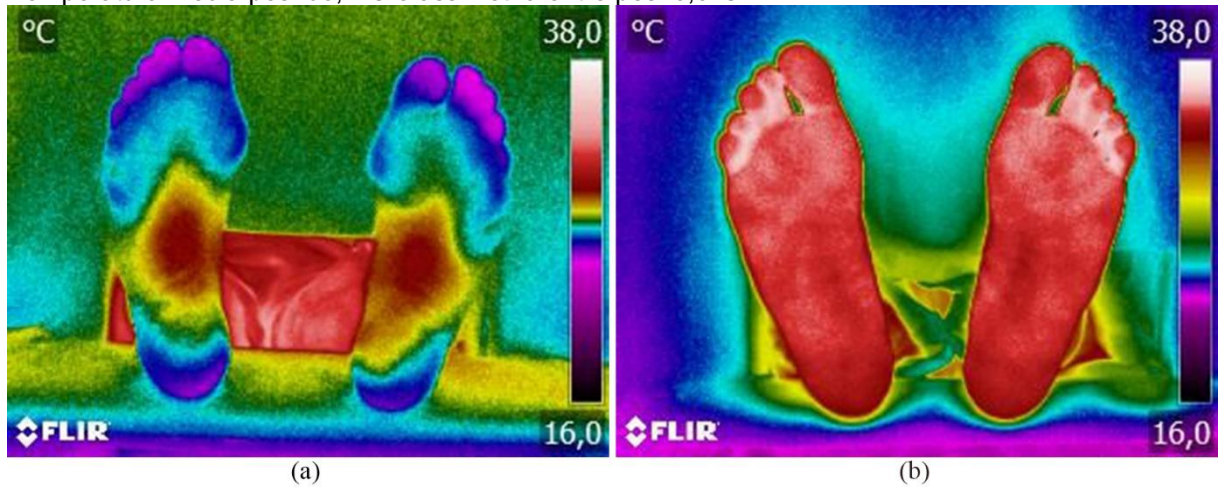


Fonte: Autoria própria.

#### 4.7 PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO DA TEMPERATURA PLANTAR

A Figura 16 apresenta os padrões de distribuição da temperatura plantar simétricos tipo borboleta (a), e todo quente (b), que foram os mais observados em indivíduos não diabéticos. As imagens foram obtidas antes do estresse térmico. Apesar de simétricos, os dois padrões diferem quanto à temperatura média dos pés, uma vez que no padrão borboleta ela é mais baixa ( $26,5^{\circ}\text{C}$  no exemplo), enquanto no padrão todo quente, a temperatura é bem maior ( $35,1^{\circ}\text{C}$ ).

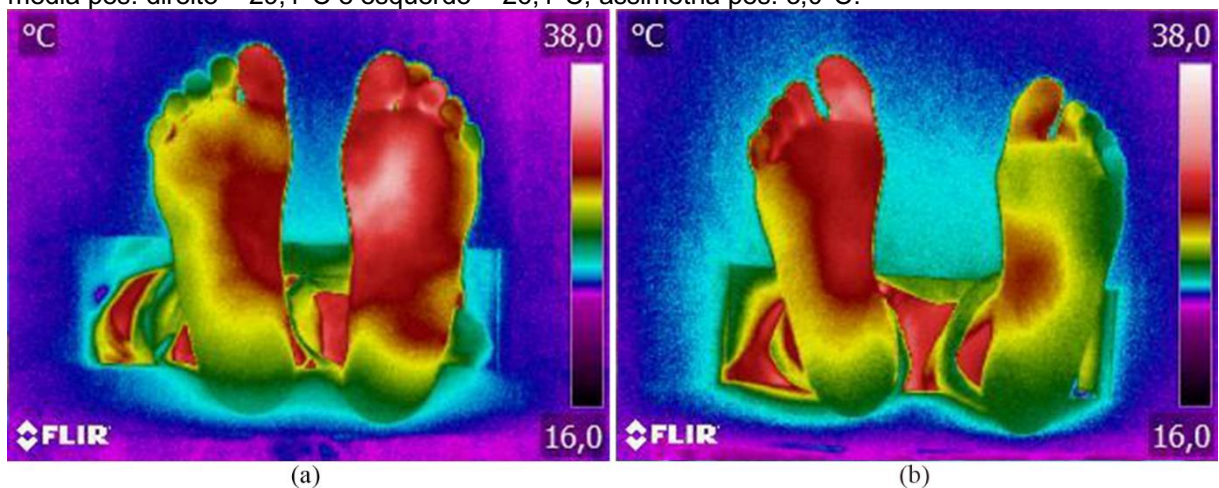
Figura 16 - Exemplos de distribuição da temperatura plantar com simetria entre os pés: (a) Padrão borboleta: Temperatura média pés: 26,5°C e assimetria entre pés: 0,0°C; (b) padrão todo quente: Temperatura média pés: 35,1°C e assimetria entre pés: 0,0°C.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 17 mostra exemplos de pés com assimetrias térmicas, e com maiores diferenças de temperatura entre os dedos, que foram mais frequentes em indivíduos diabéticos. As imagens foram adquiridas antes do estresse térmico. No exemplo mostrado em (a), a assimetria entre os pés é de 2,0°C (temperatura média pé direito: 29,2°C, e pé esquerdo: 31,2°C), e em (b), a assimetria é ainda maior, de 3,0°C (temperatura média pé direito: 29,1°C, e pé esquerdo: 26,1°C).

Figura 17 - Exemplos de distribuição da temperatura plantar com assimetrias entre os pés: (a) Temperatura média pés: direito = 29,2°C e esquerdo = 31,2°C; assimetria pés: 2,0°C; (b) Temperatura média pés: direito = 29,1°C e esquerdo = 26,1°C; assimetria pés: 3,0°C.



Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 10 constam as frequências dos principais padrões de distribuição da temperatura plantar, nos dois grupos, antes do estresse térmico. Entre os participantes não diabéticos, o padrão borboleta foi observado em 42% deles, seguido do padrão todo quente (30%). Os demais casos apresentavam distribuição com algum grau de assimetrias (28%). Por outro lado, no grupo de diabéticos, o padrão borboleta foi identificado em somente 8%, e o padrão todo quente, em 23% dos voluntários. A grande maioria apresentou distribuição de temperatura plantar com assimetrias térmicas (69%).

Tabela 10 – Frequências dos padrões de temperatura plantar nos dois grupos (n=72), antes do estresse térmico, Curitiba-PR, 2020.

<b>Padrão plantar - n (%)</b>	<b>Diabéticos (n= 36)</b>	<b>Não diabéticos (n=36)</b>
Borboleta (simétrico)	03 (08%)	15 (42%)
Todo quente (simétrico)	08 (23%)	11 (30%)
Outro (assimétrico)	25 (69%)	10 (28%)

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 11 são apresentados os resultados da comparação dos dois grupos (diabéticos e não diabéticos), quanto à temperatura e assimetria entre os pés, antes do estresse térmico, de acordo com o padrão de distribuição da temperatura plantar. A temperatura média dos pés não mostrou diferença significativa entre os grupos, nos três padrões. Na análise da assimetria térmica, os padrões borboleta e todo quente também não apresentaram diferença significativa. Entretanto, no padrão assimétrico, a assimetria térmica foi significativamente maior no grupo de diabéticos.

Tabela 11 – Teste de Mann-Whitney referente à temperatura média e assimetria térmica entre os pés em cada padrão de distribuição da temperatura plantar (n=72), antes do estresse térmico, apresentadas pela mediana (1°- 3° quartis), Curitiba-PR, 2020.

Padrão plantar	Temperatura média pés (°C)			Assimetria térmica pés (°C)		
	DM	NDM	p-valor	DM	NDM	p-valor
Borboleta (n=18)	25,1 (24,7- 25,7)	25,1 (24,0- 26,1)	0,912	0,47 (0,43- 0,78)	0,26 (0,11- 0,47)	0,100
Todo quente (n=19)	33,0 (32,5- 33,1)	34,0 (32,7- 34,5)	0,310	0,57 (0,16- 0,73)	0,26 (0,04- 0,44)	0,152
Assimétrico (n=35)	29,9 (27,5- 32,0)	30,1 (28,9- 31,9)	0,602	0,77 (0,54- 1,56)	0,33 (0,16- 0,58)	0,008*

Fonte: Autoria própria.

DM: diabéticos; NDM: não diabéticos; \*: p<0,01

## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERÍSTICAS DOS PARTICIPANTES

Assim como no presente estudo, em diversas pesquisas sobre termografia e pé diabético, a idade média dos participantes diabéticos era superior a 50 anos, e o IMC estava na faixa de sobrepeso (ADAM *et al.*, 2018b; BALBINOT *et al.*, 2012; CARABOTT *et al.*, 2019; ILO *et al.*, 2020a; NEVES *et al.*, 2015a; SILVA *et al.*, 2018; SIVANANDAM *et al.*, 2012), confirmando que a prevalência de DM2 é maior em pessoas com mais de 40 anos e com excesso de peso (SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES, 2019). Além disso, segundo a Sociedade Brasileira de Diabetes (2019), o DM2 corresponde entre 90% e 95% dos casos, o que também foi observado no presente trabalho, uma vez que 92% dos diabéticos eram do tipo 2.

Foi possível observar que, além da hiperglicemia característica dos diabéticos, nesse grupo também foram registradas maiores frequências de hipertensão arterial e colesterol alto, o que também está de acordo com a afirmação da Sociedade Brasileira de Diabetes (2019), de que a hipertensão arterial é 2,4 vezes mais frequente nos indivíduos diabéticos, afetando a maioria dos portadores de DM2, assim como a dislipidemia. Alguns estudos sobre termografia e pé diabético investigaram a prevalência de hipertensão em diabéticos, sendo também observadas frequências altas desse distúrbio, de 71% (ILO *et al.*, 2020a), 78% (STURGEON *et al.*, 2019) e 82% (SILVA *et al.*, 2018).

### 5.2 CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS

A correlação moderada e positiva entre temperatura média da testa e máxima dos olhos obtida no presente estudo, também foi observada em diabéticos, por alguns pesquisadores, com resultados de  $r=0,590$ ;  $p<0,05$  (ANBURAJAN *et al.*, 2011), e  $r=0,750$ ;  $p<0,01$  (SIVANANDAM *et al.*, 2012).

A temperatura máxima dos olhos (canto interno dos olhos) fornece uma medida indireta da temperatura central, por meio da termografia (RING E AMMER, 2012; SIVANANDAM *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2015), e no presente estudo, foi a mesma nos dois grupos ( $36,1^{\circ}\text{C}$ ). Em uma pesquisa com 29 diabéticos e 31 indivíduos saudáveis, a temperatura dessa região também foi similar nos dois grupos de,

respectivamente, 35,6°C e 36,0°C, em diabéticos e não diabéticos (SIVANANDAM *et al.*, 2013).

A correlação moderada e negativa obtida no presente estudo, entre idade e temperatura da testa, no grupo de diabéticos ( $\rho = -0,492$ ;  $p < 0,01$ ), também foi observada em uma pesquisa com 30 diabéticos, com resultado similar ( $r = -0,480$ ;  $p < 0,01$ ) (SIVANANDAM *et al.*, 2012). Por outro lado, no grupo de não diabéticos do presente estudo, foi obtida correlação moderada e positiva entre idade e temperatura máxima dos olhos, entretanto, não foram encontradas outras pesquisas investigando essa correlação.

Contudo, em um trabalho com 31 indivíduos saudáveis, com idade média de 40 anos, a temperatura dos olhos foi 36,0°C (SIVANANDAM *et al.*, 2013), a mesma observada no presente estudo, enquanto uma pesquisa com 19 jovens saudáveis (23 anos) observou temperatura dos olhos mais baixa, de 35,0°C (ZOLET *et al.*, 2019), sugerindo uma relação entre essas variáveis.

Entretanto, somente no grupo de diabéticos obteve-se correlação moderada e positiva entre a temperatura da testa e a temperatura média dos pés (antes do estresse térmico). A relação entre essas variáveis também foi observada em um estudo com 69 diabéticos e 25 não diabéticos (SUN *et al.*, 2006).

Alguns estudos investigaram a correlação entre a temperatura máxima dos olhos com outras regiões corporais. Em um deles, com 180 observações realizadas em mulheres jovens (idade média de 17 anos) e saudáveis, foi obtida correlação positiva entre a temperatura máxima dos olhos e a temperatura média das mamas ( $r = 0,605$ ;  $p < 0,01$ ) (SOUZA *et al.*, 2015). Outra pesquisa, também conduzida com indivíduos saudáveis e jovens (23 anos), observou correlação positiva entre a temperatura máxima dos olhos e a temperatura média dos pés ( $\rho = 0,617$ ;  $p < 0,01$ ) (ZOLET *et al.*, 2019). A temperatura do canto interno dos olhos é considerada uma medida indireta da temperatura interna corporal, podendo ser um indicador da presença ou ausência de febre (RING E AMMER, 2012). Desse modo, esses achados podem sugerir que em jovens saudáveis exista maior correspondência entre a temperatura interna e a temperatura de outras regiões corporais consideradas normais.

### 5.3 TEMPERATURA MÉDIA DOS PÉS E POR ROI

Não foram observadas diferenças significativas entre os grupos (diabéticos e não diabéticos), na temperatura média dos pés, ou na temperatura de cada região avaliada, antes do estresse térmico (Tabela 4). A temperatura da pele varia de uma pessoa a outra, e pode ser influenciada por fatores tais como, idade, gênero e composição corporal (FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2015). Algumas pesquisas conduzidas com indivíduos jovens e saudáveis observaram temperaturas dos pés mais baixas que as do presente estudo. Em uma delas, a idade era 23 anos e o IMC, 24,4 kg/m<sup>2</sup>, e a temperatura dos pés foi de 25,0°C (ZOLET *et al.*, 2019), e em outra pesquisa, na qual a idade era 30 anos e o IMC, 21,4 kg/m<sup>2</sup>, foi obtida temperatura dos pés de 25,3°C (RENERO-C, 2017).

Os resultados de estudos analisando outras regiões corporais por meio da termografia indicaram haver a influência da composição corporal na temperatura da pele (NEVES *et al.*, 2015a; NEVES *et al.*, 2017; NEVES *et al.*, 2015b; SALAMUNES *et al.*, 2017).

Quanto à idade dos participantes, em alguns estudos observou-se uma diferença considerável entre diabéticos e não diabéticos. Em um deles participaram 30 diabéticos (51 anos) e 32 indivíduos saudáveis (40 anos), e foram observadas temperaturas dos pés de 27,3°C em diabéticos, e 28,4°C em não diabéticos (SIVANANDAM *et al.*, 2012). Outro trabalho da mesma equipe, com 29 diabéticos (52 anos) e 31 não diabéticos (40 anos), obteve temperaturas dos pés de 27,4°C e 28,5°C, respectivamente em diabéticos e não diabéticos (SIVANANDAM *et al.*, 2013). Em outro estudo ainda, com 118 diabéticos (74 anos) e 93 indivíduos saudáveis (61 anos), as temperaturas obtidas nos pés foram de 28,7°C e 27,7°C, em diabéticos e saudáveis, respectivamente (ILO *et al.*, 2020a).

Em poucos trabalhos a idade era similar nos dois grupos (diabéticos e não diabéticos), como no estudo em que participaram 29 diabéticos (58 anos) e 25 não diabéticos (56 anos), e foram observadas temperaturas dos pés de 27,1°C em diabéticos, e 26,8°C em não diabéticos (SUN *et al.*, 2006). Outra pesquisa, com 15 diabéticos (46 anos) e 17 não diabéticos (43 anos) obteve temperatura dos pés de 27,8°C em diabéticos e 28,8°C no grupo saudável (ANBURAJAN *et al.*, 2011). Em outro estudo, realizado com 277 diabéticos (63 anos) e 202 não diabéticos (62 anos) foram obtidas temperaturas dos pés de 24,2°C em diabéticos, e 27,2°C em não

diabéticos (ASTASIO-PICADO *et al.*, 2019). Contudo, foi possível perceber que na maioria das pesquisas citadas anteriormente, a idade dos participantes, tanto diabéticos quanto não diabéticos, era inferior à do presente estudo, assim como a temperatura média dos pés.

No presente estudo a temperatura média dos pés dos indivíduos não diabéticos ficou abaixo de 30°C, o que também foi observado em outras pesquisas, com valores de 25,0°C (ZOLET *et al.*, 2019), 25,3°C (RENERO-C, 2017), 26,0°C (HERNANDEZ-CONTRERAS *et al.*, 2017), 26,8°C (SUN *et al.*, 2006), 27,2°C (ASTASIO-PICADO *et al.*, 2019), 27,6°C (NIU *et al.*, 2001), 28,4°C (SIVANANDAM *et al.*, 2012), 28,5°C (SIVANANDAM *et al.*, 2013), 29,1°C (MACDONALD *et al.*, 2017), 29,4°C (ILO *et al.*, 2020a).

A doença arterial periférica, que compromete o fluxo sanguíneo nos membros inferiores, é causada principalmente pelo diabetes *mellitus* e tabagismo, porém, a idade avançada, hipertensão arterial e dislipidemia também são fatores de risco (ABOYANS *et al.*, 2018; CRIQUI, 2001; HUANG *et al.*, 2011; RIGATO *et al.*, 2017; STAFFA *et al.*, 2017). Além disso, algumas pessoas que sofrem de doença arterial das extremidades inferiores podem ser assintomáticas, permanecendo sem diagnóstico (ABOYANS *et al.*, 2018; CRIQUI, 2001; SALEH *et al.*, 2018).

A neuropatia periférica é uma das complicações mais comuns do diabetes, devido à hiperglicemia, porém, outros fatores relacionados com a síndrome metabólica, tais como obesidade, dislipidemia e hipertensão, também podem ser fatores de risco (SINGLETON E SMITH, 2012; SMITH *et al.*, 2008). Além disso, a prevalência de neuropatia periférica em pessoas com mais de 55 anos chega a 8% (BAUTE *et al.*, 2019; KRAYCHETE E SAKATA, 2011).

São diversas as causas de neuropatias, tornando difícil a avaliação e diagnóstico, o que leva muitos casos a ficar sem causa definida (FARHAD *et al.*, 2016; KRAYCHETE E SAKATA, 2011). Além de algumas doenças como o diabetes, outras causas de neuropatia são, a exposição a substâncias tóxicas, medicamentos, infecções, doenças hereditárias, hipotireoidismo, deficiências nutricionais (AZHARY *et al.*, 2010; FARHAD *et al.*, 2016), e até doença celíaca (FARHAD *et al.*, 2016; ZIS *et al.*, 2018).

A literatura mostra que, em geral, têm sido observadas temperaturas mais altas nos pés de diabéticos, principalmente na presença de neuropatia periférica. Em um estudo com 112 diabéticos, a temperatura dos pés foi de 32,7°C naqueles que



apresentavam essa complicação (BAGAVATHIAPPAN *et al.*, 2010). Outra pesquisa, com 54 diabéticos, encontrou temperatura de 31,7°C no grupo com maior gravidade nas complicações (VAN NETTEN *et al.*, 2014). Em um trabalho com 69 diabéticos foi observada temperatura de 30,2°C no grupo com maior risco de ulceração (SUN *et al.*, 2006), e em outra pesquisa foram avaliados 118 diabéticos, sendo que naqueles com neuropatia, a temperatura dos pés obtida foi de 29,4°C (ILO *et al.*, 2020a).

Quanto à temperatura das regiões avaliadas no presente estudo, observou-se que no grupo de diabéticos a temperatura dos dedos variou de 30,0°C a 32,1°C, uma faixa de 2,1°C, enquanto no grupo de não diabéticos, essas regiões apresentaram temperatura entre 28,2°C e 29,1°C, ou seja, a variação foi bem menor, de 0,9°C. Além disso, entre os não diabéticos, os dedos estavam com temperaturas mais baixas que a maioria das demais regiões analisadas, o que foi observado também em pesquisas com indivíduos saudáveis (MACDONALD *et al.*, 2017; ZOLET *et al.*, 2019). Nos dois grupos, porém, o hálux apresentou a temperatura mais alta dentre os dedos, o que também foi observado em outros estudos (GATT *et al.*, 2018c; ZOLET *et al.*, 2019).

Pesquisadores avaliaram a temperatura dos dedos dos pés de 104 diabéticos com diferentes complicações (neuropatia, neuroisquemia ou doença arterial periférica), e de 78 indivíduos sem complicações (pés saudáveis de diabéticos e não diabéticos), obtendo temperaturas médias dos dedos de respectivamente 27,4°C e 25,3°C, nos grupos com e sem complicações (GATT *et al.*, 2018c). A mesma equipe avaliou 12 diabéticos com pés neuroisquêmicos com úlcera ativa em um dos dedos, 30 diabéticos com pés neuroisquêmicos sem úlceras, e 15 diabéticos com pés sem complicações, obtendo temperaturas dos dedos de respectivamente, 28,7°C, 27,7°C e 24,9°C (GATT *et al.*, 2018b). Em outro estudo, com 44 diabéticos, foram obtidas as temperaturas de 20,6°C no hálux, e 21,2°C no quinto dedo (NEVES *et al.*, 2015a). Percebe-se, porém, que as temperaturas observadas nessas pesquisas foram menores que as obtidas nos dedos dos diabéticos do presente estudo, cujos valores ficaram entre 30,0°C e 32,1°C.

Diante da variedade de resultados observados na literatura, muitos deles, conflitantes, percebe-se que ainda não está clara a validade da análise de valores absolutos de temperatura para determinar limiares que indiquem anormalidades nos pés (VAN NETTEN *et al.*, 2013), uma vez que, além das próprias complicações do diabetes, há outros fatores que podem afetar a temperatura da pele, tais como idade,

gênero e condições ambientais (FERNÁNDEZ-CUEVAS *et al.*, 2015), bem como a composição corporal (NEVES *et al.*, 2015a; NEVES *et al.*, 2017; NEVES *et al.*, 2015b; SALAMUNES *et al.*, 2017).

#### 5.4 ASSIMETRIA TÉRMICA ENTRE OS PÉS E POR ROI

A análise da assimetria térmica é uma das mais utilizadas em estudos sobre termografia, uma vez que diferenças de temperatura em regiões contralaterais do corpo podem indicar alguma anormalidade (HERNANDEZ-CONTRERAS *et al.*, 2016; ILO *et al.*, 2020a; NAHM, 2013).

No presente estudo, a assimetria térmica da temperatura média dos pés (antes do estresse térmico) estava significativamente maior no grupo de diabéticos, o mesmo ocorrendo na maioria das regiões avaliadas (Tabela 5).

Estudos observaram que a assimetria térmica entre os pés de diabéticos tende a ser maior à medida que as complicações se agravam. Um deles, realizado com 15 diabéticos, mostrou que naqueles com neuropatia, mas sem complicações nos pés, foram observadas assimetrias de até 0,8°C, enquanto na presença de complicações localizadas, chegaram a 1,5°C, e com complicações graves, a menor assimetria foi de 3,0°C (VAN NETTEN *et al.*, 2013). Resultados similares foram registrados em outra pesquisa conduzida com 54 diabéticos com neuropatia, sendo observada assimetria de 1,07°C nos pés sem complicações, 1,36°C nos que apresentavam problemas menos graves, e 2,65°C naqueles com complicações que requeriam tratamento imediato (VAN NETTEN *et al.*, 2014). Outro trabalho, no qual participaram 118 diabéticos, observou assimetria de 1,9°C em pés neuropáticos ou neuroisquêmicos, e 0,8°C em pés com angiopatia (ILO *et al.*, 2020a).

De fato, estudos sugeriram que diferenças maiores que 2,2°C em pequenas regiões correspondentes dos dois pés indicam o risco aumentado do surgimento de úlcera no membro que estiver com a temperatura mais elevada (ARMSTRONG *et al.*, 2007; LAVERY *et al.*, 2007). Porém, na análise da assimetria geral entre os pés, foi sugerido que uma diferença maior que 1,35°C indicaria a presença de complicações graves, necessitando de tratamento urgente (VAN NETTEN *et al.*, 2014).

No presente estudo, os indivíduos não diabéticos apresentaram pequena assimetria da temperatura média dos pés (0,26°C), e na análise por ROI, o maior valor ficou próximo de 0,5°C. Estudos com indivíduos saudáveis também encontraram

assimetria entre os pés com média menor que 0,5°C. Em um deles, com 39 indivíduos e idade média de 27 anos, foi encontrada assimetria de 0,28°C (VARDASCA *et al.*, 2012). Em outra pesquisa, com 57 indivíduos de 24 a 80 anos (não foi fornecida a média da idade), foi obtida assimetria de 0,4°C (NIU *et al.*, 2001), e esse mesmo valor foi encontrado em um estudo com 103 participantes, com idade média de 45 anos (MACDONALD *et al.*, 2017), e também em uma pesquisa conduzida com 19 indivíduos, com idade de 23 anos (ZOLET *et al.*, 2019).

Na verdade, estudos que analisaram a assimetria térmica em outras regiões corporais também encontraram valores médios de até 0,5°C em indivíduos saudáveis (MARINS *et al.*, 2014; NIU *et al.*, 2001; VARDASCA *et al.*, 2012), o que está de acordo com o observado no presente estudo.

A análise da assimetria térmica tem se mostrado efetiva na avaliação do risco de complicações do pé diabético. Algumas das limitações desse método estão relacionadas à ocorrência de amputação de um dos membros ou à presença de complicações similares em regiões correspondentes dos dois pés, o que impediria a identificação de diferenças de temperatura. Além disso, é mais difícil delimitar manualmente regiões contralaterais dos dois pés, podendo haver diferenças nos resultados, dependendo do observador (LIU *et al.*, 2015).

## 5.5 DIFERENÇA DE TEMPERATURA ENTRE CALCANHAR E DEDOS

Como a temperatura e a assimetria térmica entre calcanhares não mostraram diferenças significativas entre os grupos, pensou-se em utilizar essa região como referência para analisar cada pé separadamente, pela diferença de temperatura entre o calcanhar e cada dedo do pé (antes do estresse térmico), conforme mostra a Tabela 6. Com exceção do quinto dedo, foram observadas diferenças significativas entre os grupos, indicando que a temperatura dos dedos dos diabéticos estava mais alta que a dos não diabéticos, o que não foi obtido na análise das temperaturas médias.

Estudos conduzidos com indivíduos saudáveis, de diferentes faixas etárias, observaram que a temperatura dos dedos era menor que a do calcanhar. Em um deles, com 103 participantes, com idade média de 45 anos, foi obtida temperatura nos dedos de 27,0°C, e no calcanhar, de 28,5°C (MACDONALD *et al.*, 2017). Outra pesquisa com 19 indivíduos saudáveis (23 anos), encontrou temperatura nos dedos de 25,1°C, e de 26,1°C no calcanhar (ZOLET *et al.*, 2019). Em outro trabalho com 57

voluntários, na faixa de idade de 24 a 80 anos (a média não foi informada), foi obtida a temperatura de 27,5°C nos dedos e de 28,7°C, no calcanhar (NIU *et al.*, 2001). Percebe-se nesses estudos, que os dedos de indivíduos saudáveis apresentaram temperaturas entre 1,0°C e 1,5°C mais baixas que o calcanhar. Além disso, esses resultados podem sugerir, novamente, uma relação entre a idade e a temperatura dos pés. No presente estudo, em que a idade dos participantes era maior (em torno de 60 anos), o grupo de não diabéticos apresentou menores diferenças de temperatura entre os dedos e o calcanhar, mas mesmo assim, foi possível identificar diferenças significativas com relação ao grupo de diabéticos, no qual a temperatura dos dedos estava bem maior que a do calcanhar.

Estudos investigaram em quais regiões dos pés havia maior prevalência de úlceras. Em um deles, em que foram avaliados 1666 diabéticos por um período médio de 27 meses, 150 apresentaram pelo menos uma úlcera infectada nos pés, a maioria no hálux (32%), e em seguida nos demais dedos (26%). Na região dos metatarsos a frequência foi de 16%, e no calcanhar, de 8% (LIVERY *et al.*, 2006). Em outra pesquisa com 198 diabéticos foram encontradas 221 úlceras ao longo de 33 meses, a maioria em algum dos dedos (49%), 19% nas regiões das cabeças dos metatarsos, e 24% no calcanhar (LEESE *et al.*, 2007). Outros pesquisadores avaliaram 86 diabéticos, e a região com maior ocorrência de úlcera foi o hálux (30%), seguida dos demais dedos (17%), da cabeça do primeiro metatarso (25%), e do segundo ao quinto metatarsos (20%) (BUS *et al.*, 2013). Um estudo de revisão também observou que a maioria das úlceras, em torno de 50%, ocorriam em um dos dedos dos pés (ZUBAIR *et al.*, 2015).

Os resultados desses estudos confirmam a importância da avaliação dos dedos dos pés, antes do surgimento de qualquer sinal de ulceração, uma vez que são regiões com alta prevalência de úlceras. Uma das possíveis explicações seria a distribuição da pressão plantar anormal em diabéticos com neuropatia periférica (SUTKOWSKA *et al.*, 2019). A neuropatia leva à perda da sensibilidade protetora da pele em regiões com excessiva pressão plantar, elevando o risco de ulceração (FERREIRA *et al.*, 2010; GIACOMOZZI *et al.*, 2018). O hálux e outras regiões envolvidas no ciclo da marcha normalmente sofrem maior pressão plantar (FILIPPIN *et al.*, 2008), e as alterações sensitivas podem causar modificações biomecânicas que prejudicam a marcha, levando à pressão plantar anormal que pode causar deformidades, calosidades e ulcerações (COSTA E CARVALHO, 2011). Em diabéticos

com neuropatia, a distribuição anormal da pressão plantar ocorre principalmente nas articulações metatarsofalangeanas (SUTKOWSKA *et al.*, 2019). O excesso de peso também contribui para o aumento da pressão plantar, especialmente nas regiões das cabeças dos metatarsos e hálux (DE GASPERI *et al.*, 2012).

## 5.6 MAIOR DIFERENÇA DE TEMPERATURA ENTRE OS DEDOS

Os diabéticos apresentaram maiores diferenças de temperatura entre os dedos que os não diabéticos, tanto antes quanto após o estresse térmico (Tabela 7). Percebeu-se que os valores foram menores quando o hálux não foi considerado (Tabela 8), confirmando que esse dedo apresentou temperatura mais alta que os demais, nos dois grupos (Tabela 4), o que também foi observado em estudos com diabéticos (GATT *et al.*, 2018c) e não diabéticos (ZOLET *et al.*, 2019).

Quando a comparação foi feita para investigar diferenças antes e após o estresse térmico, em cada grupo (amostras relacionadas), observou-se que no grupo de diabéticos, a diferença de temperatura entre os dedos foi maior após o teste com frio (1,85°C), do que antes dele (1,40°C), sendo a diferença entre os valores estatisticamente significativa ( $p=0,018$ ). Por outro lado, nos indivíduos não diabéticos, os valores obtidos antes e após o estresse térmico foram, respectivamente, 0,90°C e 0,95°C, não sendo observada diferença significativa entre eles ( $p=0,242$ ), como mostra a Tabela 9. Esses resultados indicaram que o impacto do estresse térmico foi maior no grupo de diabéticos, levando à identificação de maiores diferenças de temperatura entre os dedos após o teste, ao passo que os voluntários do grupo de não diabéticos foram pouco afetados pelo estresse térmico, uma vez que os valores de temperatura foram similares antes e após o mesmo.

Na verdade, o estímulo com frio é utilizado para aumentar a sensibilidade do método de avaliação da presença de complicações como neuropatia periférica (DE SÁ GUIMARÃES *et al.*, 2018a), o que pode explicar a maior diferença de temperatura entre os dedos, após o estresse térmico, nos indivíduos diabéticos, que estão mais sujeitos a complicações nos pés do que os participantes não diabéticos.

Na Figura 15, com um exemplo de pés de um indivíduo diabético, é possível notar que em algumas regiões, a temperatura após o teste com frio estava maior que antes do teste, principalmente no pé esquerdo, sugerindo uma resposta de hiperemia reativa, o que pode estar relacionado a danos em fibras nervosas (DE SÁ

GUIMARÃES *et al.*, 2018a), ou seja, o teste com frio pode ter sido útil para detectar a presença de neuropatia periférica nesse caso (LIMA *et al.*, 2015).

A análise termográfica referente à recuperação térmica da pele após exposição dos pés à água fria permite avaliar a função dos nervos simpáticos periféricos e também identificar distúrbios na circulação sanguínea periférica. A temperatura da pele reflete principalmente o fluxo sanguíneo através da anastomose arteriovenosa, que é regulado pelo sistema nervoso simpático adrenérgico (FUJIWARA *et al.*, 2000). Disfunções nos mecanismos termorregulatórios dos pés podem ocasionar distúrbios na vasoconstrição mediada pelo sistema simpático, levando ao aumento do fluxo sanguíneo nos vasos cutâneos, com consequente elevação da emissão de calor (GATT *et al.*, 2018a).

Em um estudo com 29 diabéticos, 13 pré-diabéticos e 37 indivíduos não diabéticos, foi sugerido que uma diferença de temperatura entre os dedos maior que 0,4°C, após o teste de estresse ao frio, o que foi chamado de anisotermia interdigital, poderia indicar precocemente a presença de neuropatia periférica (BALBINOT *et al.*, 2012), porém, o objetivo do trabalho foi avaliar a sensibilidade desses testes, não sendo apresentados valores absolutos de temperatura.

Por outro lado, em uma pesquisa com 57 diabéticos foram analisados os dedos com diferentes tipos de complicações, e não foi observada diferença significativa na temperatura, no mesmo pé, entre um dedo com úlcera e os adjacentes, sem úlcera, indicando que todos os dedos poderiam estar com risco aumentado de ulceração (GATT *et al.*, 2018b). Contudo, nesse estudo não foi realizado o teste de estresse ao frio nos pés, que poderia ter revelado uma recuperação térmica anormal, indicando danos em nervos periféricos do sistema simpático e na microcirculação periférica (FUJIWARA *et al.*, 2000).

No presente estudo, o teste com frio foi válido para identificar maiores diferenças de temperatura entre os dedos de diabéticos que podem estar relacionadas à neuropatia periférica, porém, mesmo sem a realização do teste já foi possível identificar diferenças significativas entre diabéticos e não diabéticos, indicando que a análise dos dedos pode ser útil para detectar precocemente temperaturas anormais nessas regiões.

## 5.7 PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO DA TEMPERATURA PLANTAR

Pesquisas observaram que, em indivíduos saudáveis, predominam dois padrões de distribuição da temperatura na planta dos pés. O primeiro é o padrão simétrico borboleta (*butterfly*), no qual a temperatura na região do arco plantar é mais alta e diminui gradualmente em direção às extremidades dos pés, e o segundo padrão mais visto é aquele no qual a temperatura plantar é uniformemente quente, chamado de padrão todo quente (MORI *et al.*, 2013; NAGASE *et al.*, 2011).

No presente estudo, essas frequências foram confirmadas no grupo de não diabéticos, conforme apresentado na Tabela 10. Os exemplos desses padrões, apresentados na Figura 16, indicam que em indivíduos não diabéticos podem ser observadas temperaturas médias dos pés tanto baixas quanto altas, que correspondem aos dois padrões mais observados nesses indivíduos, respectivamente, borboleta e todo quente, conforme valores apresentados na Tabela 11. É possível notar também que as temperaturas médias dos pés nesses padrões foram similares nos dois grupos. Na análise das assimetrias térmicas, não foram observadas diferenças entre os grupos nos padrões borboleta e todo quente, uma vez que a simetria térmica é uma característica desses padrões. Entretanto, no padrão assimétrico, a assimetria térmica foi significativamente maior no grupo de diabéticos.

Os resultados dessas análises confirmaram os achados sobre a temperatura média dos pés (sem diferença entre os grupos), e assimetria térmica (diferença significativa entre os grupos), descritas anteriormente. Além disso, foi possível confirmar que não havia correlação entre a temperatura dos pés e a assimetria térmica.

Alguns estudos analisaram a frequência dos principais padrões de distribuição da temperatura plantar, com base no conceito dos angiossomas. Um deles foi conduzido com 129 diabéticos e 32 não diabéticos, sendo que cada pé foi avaliado independentemente, para classificação em 20 categorias. No grupo de não diabéticos, prevaleceu o padrão borboleta, em 47% dos pés, seguido do todo quente (20%). No grupo de diabéticos, por sua vez, o padrão borboleta estava presente em 14%, e o todo quente, em 39% (NAGASE *et al.*, 2011). Outro estudo da mesma equipe, com os mesmos participantes, mas dessa vez agrupados em um número menor de classificações, observou frequências similares dos dois principais padrões. Entre os não diabéticos, 44% apresentaram o tipo borboleta e 19%, o padrão todo quente, ao

passo que no grupo de diabéticos, 12% mostraram o padrão borboleta e 46% o padrão todo quente (MORI *et al.*, 2013).

No grupo de não diabéticos do presente estudo, os padrões borboleta e todo quente também foram os mais observados. Entre os diabéticos, o padrão borboleta também foi o menos frequente, porém, o todo quente foi observado em uma proporção menor que a das referidas pesquisas, talvez porque nelas, o número de diabéticos era bem maior. Contudo, não foram apresentados valores de temperatura nesses estudos.

## 5.8 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

O presente estudo apresentou algumas limitações. Uma delas foi a dificuldade em compor um grupo de não diabéticos com idade similar à dos diabéticos, uma vez que, assim como o diabetes, outras doenças crônicas como hipertensão arterial e dislipidemia são mais comuns em pessoas com idade avançada, podendo esses fatores interferir nos resultados.

Além disso, a idade e a composição corporal parecem influenciar na temperatura da pele, de acordo com achados na literatura, e a maioria dos participantes dos dois grupos tinha idade avançada e IMC na faixa de sobrepeso, o que pode ter afetado a temperatura dos pés.

Não foi possível a realização de exames específicos para identificar possíveis complicações nos participantes, como neuropatia ou doença arterial periférica.

As regiões da planta dos pés selecionadas estão entre as que apresentam maior prevalência de ulceração, porém, outras regiões, não analisadas, também podem ser afetadas.



## 6 CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu investigar diferentes tipos de análises da temperatura da planta dos pés, comparando diabéticos e não diabéticos.

Foi possível a obtenção de correlações entre as temperaturas da testa e olhos com a idade e a temperatura dos pés, indicando que temperaturas da face podem ser utilizadas como referência na análise de outras regiões corporais, para comparar grupos distintos, como diabéticos e não diabéticos.

A análise da temperatura média dos pés não mostrou diferença significativa entre os grupos. Contudo, a avaliação dos padrões de distribuição da temperatura plantar indicou que a temperatura média dos pés dos padrões simétricos pode ser tanto baixa (padrão borboleta), quanto alta (padrão todo quente). Esses resultados indicam que não está clara a validade de se estabelecer valores ou faixas de temperatura para indicar anormalidades.

A análise da assimetria térmica, por sua vez, demonstrou ser efetiva para identificar diferenças de temperatura entre os grupos, visto que a assimetria entre os pés foi significativamente maior ( $p < 0,001$ ) no grupo de diabéticos ( $0,74^{\circ}\text{C}$ ), do que entre os não diabéticos ( $0,26^{\circ}\text{C}$ ).

As investigações relacionadas à temperatura dos dedos dos pés também levaram a resultados significativos. Na análise da diferença de temperatura entre calcanhar e cada dedo, os diabéticos mostraram temperaturas dos dedos bem mais altas que a do calcanhar, sendo o maior valor observado no hálux, que estava  $1,7^{\circ}\text{C}$  mais quente, enquanto entre os não diabéticos, as diferenças foram bem menores, de no máximo  $0,65^{\circ}\text{C}$ .

Na análise da maior diferença de temperatura entre os dedos (após o estresse térmico), os diabéticos apresentaram maior valor ( $1,85^{\circ}\text{C}$ ) que os não diabéticos ( $0,95^{\circ}\text{C}$ ), com significância estatística ( $p < 0,001$ ), sendo obtidos valores absolutos maiores que os observados na análise da assimetria térmica.

Diante dos resultados do presente estudo, recomenda-se a utilização das análises relacionadas à temperatura dos dedos (diferença entre calcanhar e dedos e maior diferença de temperatura entre os dedos), uma vez que essas avaliações resultaram em diferenças significativas entre os grupos, com valores de temperatura maiores que os obtidos na análise da assimetria térmica, e apresentando a vantagem

de cada pé poder ser avaliado separadamente, ou seja, sem a necessidade de comparação de regiões contralaterais dos dois pés.

O estudo permitiu verificar o grande potencial da termografia de infravermelho na prática clínica, para o monitoramento individualizado dos pés de portadores de diabetes *mellitus*, complementando outros procedimentos realizados habitualmente para prevenção das complicações do pé diabético.

Para futuras pesquisas, sugere-se que as análises realizadas sejam reproduzidas em um número maior de participantes, a fim de confirmar os resultados obtidos.

Além disso, no recrutamento dos voluntários, para formação de grupos homogêneos, deve ser considerada a importância de fatores como idade e IMC, e de sua possível influência na temperatura da pele, principalmente quando a avaliação for realizada em indivíduos com idade avançada, que podem ser portadores de outras doenças crônicas além do diabetes, como hipertensão arterial, dislipidemia, bem como apresentar sobrepeso e obesidade, podendo gerar confusão nos resultados.

Por fim, a análise da temperatura dos pés por meio da termografia pode ser associada a outras ferramentas utilizadas no diagnóstico de doenças como neuropatia periférica, uma vez que distúrbios desse tipo são mais comuns em diabéticos, mas podem acometer também indivíduos não diabéticos, principalmente em idade mais avançada.

## REFERÊNCIAS

ABOYANS, V.; RICCO, J.-B.; BARTELINK, M.-L. E.; BJÖRCK, M.; BRODMANN, M.; COHNERT, T.; COLLET, J.-P.; CZERNY, M.; DE CARLO, M.; DEBUS, S. 2017 ESC guidelines on the diagnosis and treatment of peripheral arterial diseases, in collaboration with the European Society for Vascular Surgery (ESVS) **European heart journal**, 39, n. 9, p. 763-816, 2018.

ADAM, M.; NG, E. Y.; OH, S. L.; HENG, M. L.; HAGIWARA, Y.; TAN, J. H.; TONG, J. W.; ACHARYA, U. R. Automated characterization of diabetic foot using nonlinear features extracted from thermograms. **Infrared Physics & Technology**, 89, p. 325-337, 2018a.

ADAM, M.; NG, E. Y.; OH, S. L.; HENG, M. L.; HAGIWARA, Y.; TAN, J. H.; TONG, J. W.; ACHARYA, U. R. Automated detection of diabetic foot with and without neuropathy using double density-dual tree-complex wavelet transform on foot thermograms. **Infrared Physics & Technology**, 92, p. 270-279, 2018b.

AHAD, N. A.; YIN, T. S.; OTHMAN, A. R.; YAACOB, C. R. Sensitivity of normality tests to non-normal data. **Sains Malaysiana**, 40, n. 6, p. 637-641, 2011.

ALFAYEZ, F.; EL-SOUD, M. W. A.; GABER, T. Thermogram Breast Cancer Detection: a comparative study of two machine learning techniques. **Applied Sciences**, 10, n. 2, p. 1-20, 2020.

ALIAHMAD, B.; TINT, A. N.; POOSAPADI ARJUNAN, S.; RANI, P.; KUMAR, D. K.; MILLER, J.; ZAJAC, J. D.; WANG, G.; EKINCI, E. I. Is thermal imaging a useful predictor of the healing status of diabetes-related foot ulcers? A pilot study. **Journal of diabetes science and technology**, 13, n. 3, p. 561-567, 2019.

ANBURAJAN, M.; SIVANANDAM, S.; BIDYARASMI, S.; VENKATRAMAN, B.; MENAKA, M.; RAJ, B. Changes of skin temperature of parts of the body and serum asymmetric dimethylarginine (ADMA) in type-2 diabetes mellitus Indian patients. *In*: 33rd ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY (EMBC), 2011, Boston. **Proceedings** [...]. IEEE, p. 6254-6259.

ARMSTRONG, D. G.; BOULTON, A. J.; BUS, S. A. Diabetic foot ulcers and their recurrence. **New England Journal of Medicine**, 376, n. 24, p. 2367-2375, 2017.

ARMSTRONG, D. G.; HOLTZ-NEIDERER, K.; WENDEL, C.; MOHLER, M. J.; KIMBRIEL, H. R.; LAVERY, L. A. Skin temperature monitoring reduces the risk for

diabetic foot ulceration in high-risk patients. **The American journal of medicine**, 120, n. 12, p. 1042-1046, 2007.

ASTASIO-PICADO, Á.; MARTÍNEZ, E. E.; GÓMEZ-MARTÍN, B. Comparative thermal map of the foot between patients with and without diabetes through the use of infrared thermography. **Enfermería Clínica (English Edition)**, 30, n. 2, p. 119-123, 2019.

ASTASIO-PICADO, A.; MARTÍNEZ, E. E.; NOVA, A. M.; RODRÍGUEZ, R. S.; GÓMEZ-MARTÍN, B. Thermal map of the diabetic foot using infrared thermography. **Infrared Physics & Technology**, 93, p. 59-62, 2018.

AZHARY, H.; FAROOQ, M. U.; BHANUSHALI, M.; MAJID, A.; KASSAB, M. Y. Peripheral neuropathy: differential diagnosis and management. **American family physician**, 81, n. 7, p. 887-892, 2010.

BAGAVATHIAPPAN, S.; LAHIRI, B.; SARAVANAN, T.; PHILIP, J.; JAYAKUMAR, T. Infrared thermography for condition monitoring: a review. **Infrared Physics & Technology**, 60, p. 35-55, 2013.

BAGAVATHIAPPAN, S.; PHILIP, J.; JAYAKUMAR, T.; RAJ, B.; RAO, P. N. S.; VARALAKSHMI, M.; MOHAN, V. Correlation between plantar foot temperature and diabetic neuropathy: a case study by using an infrared thermal imaging technique. **Journal of diabetes science and technology**, 4, n. 6, p. 1386-1392, 2010.

BAHRAMIAN, F.; MOJRA, A. Thyroid cancer estimation using infrared thermography data. **Infrared Physics & Technology**, 104, p. 1-13, 2020.

BALBINOT, L. F.; CANANI, L. H.; ROBINSON, C. C.; ACHAVAL, M.; ZARO, M. A. Plantar thermography is useful in the early diagnosis of diabetic neuropathy. **Clinics**, 67, n. 12, p. 1419-1425, 2012.

BALBINOT, L. F.; ROBINSON, C. C.; ACHAVAL, M.; ZARO, M. A.; BRIOSCHI, M. L. Repeatability of infrared plantar thermography in diabetes patients: a pilot study. **Journal of diabetes science and technology**, 7, n. 5, p. 1130-1137, 2013.

BANDEIRA, F.; MOURA, M. A. M. d.; SOUZA, M. A. d.; NOHAMA, P.; NEVES, E. B. Pode a termografia auxiliar no diagnóstico de lesões musculares em atletas de futebol? **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, 18, n. 4, p. 246-251, 2012.

BANDEIRA, F.; NEVES, E. B.; MOURA, M. A. M. d.; NOHAMA, P. A termografia no apoio ao diagnóstico de lesão muscular no esporte. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, 20, n. 1, p. 59-64, 2014.

BAUTE, V.; ZELNIK, D.; CURTIS, J.; SADEGHIFAR, F. Complementary and alternative medicine for painful peripheral neuropathy. **Current treatment options in neurology**, 21, n. 9, p. 1-15, 2019.

BAYAREH, R.; MALDONADO, H.; TORRES, I.; VERA, A.; LEIJA, L. Thermographic study of the diabetic foot of patients with diabetes mellitus and healthy patients. *In*: GLOBAL MEDICAL ENGINEERING PHYSICS EXCHANGES/PAN AMERICAN HEALTH CARE EXCHANGES (GMEPE/PAHCE), 2018, Porto. **Proceedings** [...]. IEEE, p. 1-5.

BHARARA, M.; BOULGER, E.; GREWAL, G. S.; SCHOESS, J. N.; ARMSTRONG, D. G. Applications of angiosome classification model for monitoring disease progression in the diabetic feet. *In*: SUMMER COMPUTER SIMULATION CONFERENCE (SCSC), PART OF THE SUMMER SIMULATION MULTICONFERENCE SUMMERSIM, 2014, Monterey. **Proceedings** [...]. The Society for Modeling and Simulation International, p. 241-245.

BHARARA, M.; VISWANATHAN, V.; COBB, J. E. Cold immersion recovery responses in the diabetic foot with neuropathy. **International wound journal**, 5, n. 4, p. 562-569, 2008a.

BHARARA, M.; VISWANATHAN, V.; COBB, J. E. Warm immersion recovery test in assessment of diabetic neuropathy—a proof of concept study. **International wound journal**, 5, n. 4, p. 570-576, 2008b.

BOULTON, A. J.; ARMSTRONG, D. G.; KIRSNER, R. S.; ATTINGER, C. E.; LAVERY, L. A.; LIPSKY, B. A.; MILLS SR, J. L.; STEINBERG, J. S. Diagnosis and management of diabetic foot complications. **Diabetes**, 2018, n. 2, p. 1-20, 2018.

BRIOSCHI, M. L.; MEHL, A.; OLIVEIRA, A. G. N. d.; FREITAS, M. A. d. S.; MACEDO, J. F.; MATIAS, J.; MACEDO, R. A. Exame de termometria cutânea infravermelha na avaliação do pé diabético. **Revista Médica do Paraná**, 1, n. 65, p. 33-41, 2007.

BRIOSCHI, M. L.; YENG, L. T.; DE ARAUJO, J. O.; PEZZUCCHI, M. Z.; TEIXEIRA, M. J. Modulação da dor na síndrome fibromiálgica: um distúrbio termorregulatório? **Pan American Journal of Medical Thermology**, 1, n. 2, p. 71-80, 2015.

BRIOSCHI, M. L.; YENG, L. T.; TEIXEIRA, M. J. Indicações da termografia infravermelha no estudo da dor. **DOR é coisa séria**, 5, n. 1, p. 8-14, 2009.

BRITO, J. D.; SCHMIT, E. F. D.; NÓBREGA, S. R.; NETO, S. A.; DE ALMEIDA FERREIRA, J. J.; DE ANDRADE, P. R.; DOS SANTOS, H. H. Alterações

termográficas na lombalgia crônica sob tratamento fisioterapêutico: ensaio clínico controlado e randomizado. **ConScientiae Saúde**, 14, n. 1, p. 89-98, 2015.

BUS, S. A.; WAAIJMAN, R.; ARTS, M.; DE HAART, M.; BUSCH-WESTBROEK, T.; VAN BAAL, J.; NOLLET, F. Effect of custom-made footwear on foot ulcer recurrence in diabetes: a multicenter randomized controlled trial. **Diabetes care**, 36, n. 12, p. 4109-4116, 2013.

CAMARGO, V.; GAMBA, H.; ROMANELI, E.; ULBRICHT, L. Using thermography as auxiliary tool to thyroid cancer diagnosis: a case study. *In*: 41st ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY (EMBC), 2019, Berlin. **Proceedings** [...]. IEEE, p. 5498-5501.

CARABOTT, M.; FORMOSA, C.; MIZZI, A.; PAPANAS, N.; GATT, A. Thermographic characteristics of the diabetic foot with peripheral arterial disease using the angiosome concept. **Experimental and Clinical Endocrinology & Diabetes**, p. 1-6, 2019.

CHANMUGAM, A.; LANGEMO, D.; THOMASON, K.; HAAN, J.; ALTENBURGER, E. A.; TIPPETT, A.; HENDERSON, L.; ZORTMAN, T. A. Relative temperature maximum in wound infection and inflammation as compared with a control subject using long-wave infrared thermography. **Advances in skin & Wound care**, 30, n. 9, p. 406-414, 2017.

CHILDS, C. Body temperature and clinical thermometry. *In*: **Handbook of clinical neurology**: Elsevier, 2018. v. 157, p. 467-482.

CORDOVA, C. M. M. d.; VALLE, J. P.; YAMANAKA, C. N.; CORDOVA, M. M. d. Determinação das glicemias capilar e venosa com glicosímetro versus dosagem laboratorial da glicose plasmática. **J Bras Patol Med Lab**, 45, n. 5, p. 378-384, 2009.

CÔRTE, A. C. R.; HERNANDEZ, A. J. Termografia médica infravermelha aplicada à medicina do esporte. **Revista brasileira de medicina do esporte**, 22, n. 4, p. 315-319, 2016.

COSTA, L. D. C.; CARVALHO, G. D. A. Avaliação da pressão plantar por plantígrafo f-scan em diabéticos, com risco ou sem risco neuropático, e sua correlação com o controle glicêmico e a mobilidade articular. **Brasília Med**, 48, n. 1, p. 19-26, 2011.

CRIQUI, M. H. Peripheral arterial disease-epidemiological aspects. **Vascular medicine**, 6, n. 1, p. 3-7, 2001.

CROUX, C.; DEHON, C. Influence functions of the Spearman and Kendall correlation measures. **Statistical methods & applications**, 19, n. 4, p. 497-515, 2010.

CRUZ-SEGURA, A.; CRUZ-DOMÍNGUEZ, M. P.; JARA, L. J.; MILIAR-GARCÍA, Á.; HERNÁNDEZ-SOLER, A.; GRAJEDA-LÓPEZ, P.; MARTÍNEZ-BENCOMO, M. A.; MONTES-CORTÉS, D. H. Early detection of vascular obstruction in microvascular flaps using a thermographic camera. **Journal of Reconstructive Microsurgery**, 35, n. 07, p. 541-548, 2019.

DANEMAN, D. Type 1 diabetes. **The Lancet**, 367, n. 9513, p. 847-858, 2006.

DANTAS, E. M. d. S.; PINTO, C. J.; FREITAS, R. P. d. A.; DE MEDEIROS, A. C. Q. Concordância na avaliação de risco cardiovascular a partir de parâmetros antropométricos. **Einstein (São Paulo)**, 13, n. 3, p. 376-380, 2015.

DE GASPERI, G.; SANTOS, G. M.; TAVARES, G. M. S. Análise de pressão plantar de um indivíduo em pré e pós-operatório de cirurgia bariátrica. **J Health Sci Inst**, 30, n. 3, p. 299-302, 2012.

DE MEIRA, L. F.; KRUEGER, E.; NEVES, E. B.; NOHAMA, P.; DE SOUZA, M. A. Termografia na área biomédica. **Pan American Journal of Medical Thermology**, 1, n. 1, p. 31-41, 2014.

DE SÁ GUIMARÃES, C. M. D.; BALBINOT, L. F.; BRIOSCHI, M. L. Imagens infravermelhas na avaliação do pé diabético. **Surgical & Cosmetic Dermatology**, 10, n. 2, p. 116-120, 2018a.

DE SÁ GUIMARÃES, C. M. D.; BRIOSCHI, M. L.; NEVES, E. B.; BALBINOT, L. F.; TEIXEIRA, M. J. Imagem infravermelha no diagnóstico das doenças dos pés. **Pan American Journal of Medical Thermology**, 4, p. 7-14, 2018b.

DE TROTTA, J.; ULBRICHT, L. Termografia no diagnóstico complementar de doenças músculo esqueléticas **Pan American Journal of Medical Thermology**, 2, n. 1, p. 7-13, 2015.

EKICI, S.; JAWZAL, H. Breast cancer diagnosis using thermography and convolutional neural networks. **Medical Hypotheses**, 137, p. 1-15, 2020.

EVERETT, E.; MATHIOUDAKIS, N. Update on management of diabetic foot ulcers. **Annals of the New York Academy of Sciences**, 1411, n. 1, p. 153-165, 2018.

FARHAD, K.; TRAUB, R.; RUZHANSKY, K. M.; BRANNAGAN III, T. H. Causes of neuropathy in patients referred as "idiopathic neuropathy". **Muscle & Nerve**, 53, n. 6, p. 856-861, 2016.

FERNÁNDEZ-CUEVAS, I.; MARINS, J. C. B.; LASTRAS, J. A.; CARMONA, P. M. G.; CANO, S. P.; GARCÍA-CONCEPCIÓN, M. Á.; SILLERO-QUINTANA, M. Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: a review. **Infrared Physics & Technology**, 71, p. 28-55, 2015.

FERREIRA, M. C.; VIEIRA, S. A. T.; DE CARVALHO, V. F. Estudo comparativo da sensibilidade nos pés de diabéticos com e sem úlceras utilizando o PSSD. **Acta Ortopédica Brasileira**, 18, n. 2, p. 71-74, 2010.

FILIPPIN, N. T.; SACCO, I. d. C. N.; COSTA, P. H. L. d. Distribuição da pressão plantar: definição, caracterização e aplicações no estudo do movimento humano. **Fisioterapia Brasil**, 9, n. 2, p. 221-229, 2008.

FIRESCU, D.; SASCAU, R. A.; RAFTU, G.; STATESCU, C.; CUCIUREANU, T.; CUCIUREANU, D. I. Thermography as method of paraclinic diagnosis in diabetic polyneuropathy. **Revista de Chimie**, 70, n. 4, p. 1449-1454, 2019.

FLIR SYSTEMS. **Products**. 2020. Disponível em: <https://www.flir.com.br/support/products/e60#Resources>. Acesso em: 03 Ago. 2020.

FLOR, L. S.; CAMPOS, M. R. Prevalência de diabetes mellitus e fatores associados na população adulta brasileira: evidências de um inquérito de base populacional. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, 20, p. 16-29, 2017.

FORSYTHE, R. O.; HINCHLIFFE, R. J. Assessment of foot perfusion in patients with a diabetic foot ulcer. **Diabetes/metabolism research and reviews**, 32, p. 232-238, 2016.

FUJIWARA, Y.; INUKAI, T.; ASO, Y.; TAKEMURA, Y. Thermographic measurement of skin temperature recovery time of extremities in patients with type 2 diabetes mellitus. **Experimental and clinical endocrinology & diabetes**, 108, n. 07, p. 463-469, 2000.

GARDUÑO-RAMÓN, M. A.; VEGA-MANCILLA, S. G.; MORALES-HENÁNDEZ, L. A.; OSORNIO-RIOS, R. A. Supportive noninvasive tool for the diagnosis of breast cancer using a thermographic camera as sensor. **Sensors**, 17, n. 3, p. 1-21, 2017.

GATT, A.; CASSAR, K.; FALZON, O.; ELLUL, C.; CAMILLERI, K. P.; GAUCI, J.; MIZZI, S.; MIZZI, A.; STURGEON, C.; CHOCKALINGAM, N. The identification of



higher forefoot temperatures associated with peripheral arterial disease in type 2 diabetes mellitus as detected by thermography. **Primary care diabetes**, 12, n. 4, p. 312-318, 2018a.

GATT, A.; FALZON, O.; CASSAR, K.; CAMILLERI, K. P.; GAUCI, J.; ELLUL, C.; MIZZI, S.; MIZZI, A.; PAPANAS, N.; STURGEON, C. The application of medical thermography to discriminate neuroischemic toe ulceration in the diabetic foot. **The international journal of lower extremity wounds**, 17, n. 2, p. 102-105, 2018b.

GATT, A.; FALZON, O.; CASSAR, K.; ELLUL, C.; CAMILLERI, K. P.; GAUCI, J.; MIZZI, S.; MIZZI, A.; STURGEON, C.; CAMILLERI, L. Establishing differences in thermographic patterns between the various complications in diabetic foot disease. **International Journal of Endocrinology**, 2018, p. 1-8, 2018c.

GIACOMOZZI, C.; SARTOR, C. D.; TELLES, R.; UCCIOLI, L.; SACCO, I. C. Ulcer-risk classification and plantar pressure distribution in patients with diabetic polyneuropathy: exploring the factors that can lead to foot ulceration. **Annali Dell Istituto Superiore Di Sanita**, 54, n. 4, p. 284-293, 2018.

GOYAL, M.; REEVES, N. D.; RAJBHANDARI, S.; AHMAD, N.; WANG, C.; YAP, M. H. Recognition of ischaemia and infection in diabetic foot ulcers: dataset and techniques. **Computers in Biology and Medicine**, 117, p. 1-10, 2020.

HERNANDEZ-CONTRERAS, D.; PEREGRINA-BARRETO, H.; RANGEL-MAGDALENO, J.; GONZALEZ-BERNAL, J. Narrative review: diabetic foot and infrared thermography. **Infrared Physics & Technology**, 78, p. 105-117, 2016.

HERNANDEZ-CONTRERAS, D.; PEREGRINA-BARRETO, H.; RANGEL-MAGDALENO, J.; GONZALEZ-BERNAL, J.; ALTAMIRANO-ROBLES, L. A quantitative index for classification of plantar thermal changes in the diabetic foot. **Infrared Physics & Technology**, 81, p. 242-249, 2017.

HERNANDEZ-CONTRERAS, D. A.; PEREGRINA-BARRETO, H.; DE JESUS RANGEL-MAGDALENO, J.; RENERO-CARRILLO, F. J. Plantar thermogram database for the study of diabetic foot complications. **IEEE Access**, 7, p. 296-307, 2019.

HILDEBRANDT, C.; RASCHNER, C.; AMMER, K. An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. **Sensors**, 10, n. 5, p. 4700-4715, 2010.

HINGORANI, A.; LAMURAGLIA, G. M.; HENKE, P.; MEISSNER, M. H.; LORETZ, L.; ZINSZER, K. M.; DRIVER, V. R.; FRYKBERG, R.; CARMAN, T. L.; MARSTON, W. The management of diabetic foot: a clinical practice guideline by the Society for

Vascular Surgery in collaboration with the American Podiatric Medical Association and the Society for Vascular Medicine. **Journal of vascular surgery**, 63, n. 2, p. 3-21, 2016.

HUANG, C.-L.; WU, Y.-W.; HWANG, C.-L.; JONG, Y.-S.; CHAO, C.-L.; CHEN, W.-J.; WU, Y.-T.; YANG, W.-S. The application of infrared thermography in evaluation of patients at high risk for lower extremity peripheral arterial disease. **Journal of vascular surgery**, 54, n. 4, p. 1074-1080, 2011.

ILO, A.; ROMSI, P.; MÄKELÄ, J. Infrared thermography and vascular disorders in diabetic feet. **Journal of diabetes science and technology**, 14, n. 1, p. 28-36, 2020a.

ILO, A.; ROMSI, P.; POKELA, M.; MÄKELÄ, J. Infrared thermography follow-up after lower limb revascularization. **Journal of diabetes science and technology**, n. 1, p. 1-9, 2020b.

JEFFCOATE, W. J.; VILEIKYTE, L.; BOYKO, E. J.; ARMSTRONG, D. G.; BOULTON, A. J. Current challenges and opportunities in the prevention and management of diabetic foot ulcers. **Diabetes care**, 41, n. 4, p. 645-652, 2018.

JIANG, L.; NG, E.; YEO, A.; WU, S.; PAN, F.; YAU, W.; CHEN, J.; YANG, Y. A perspective on medical infrared imaging. **Journal of medical engineering & technology**, 29, n. 6, p. 257-267, 2005.

KANDLIKAR, S. G.; PEREZ-RAYA, I.; RAGHUPATHI, P. A.; GONZALEZ-HERNANDEZ, J.-L.; DABYDEEN, D.; MEDEIROS, L.; PHATAK, P. Infrared imaging technology for breast cancer detection: current status, protocols and new directions. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 108, p. 2303-2320, 2017.

KRAYCHETE, D. C.; SAKATA, R. K. Neuropatias periféricas dolorosas. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, 61, n. 5, p. 649-658, 2011.

LAHIRI, B.; BAGAVATHIAPPAN, S.; JAYAKUMAR, T.; PHILIP, J. Medical applications of infrared thermography: a review. **Infrared Physics & Technology**, 55, n. 4, p. 221-235, 2012.

LAHIRI, B.; BAGAVATHIAPPAN, S.; RAJ, B.; PHILIP, J. Infrared thermography for detection of diabetic neuropathy and vascular disorder. *In: Application of Infrared to Biomedical Sciences*: Springer, 2017. p. 217-247.

LIVERY, L. A.; ARMSTRONG, D. G.; WUNDERLICH, R. P.; MOHLER, M. J.; WENDEL, C. S.; LIPSKY, B. A. Risk factors for foot infections in individuals with diabetes. **Diabetes care**, 29, n. 6, p. 1288-1293, 2006.

LIVERY, L. A.; HIGGINS, K. R.; LANCTOT, D. R.; CONSTANTINIDES, G. P.; ZAMORANO, R. G.; ATHANASIOU, K. A.; ARMSTRONG, D. G.; AGRAWAL, C. M. Preventing diabetic foot ulcer recurrence in high-risk patients. **Diabetes care**, 30, n. 1, p. 14-20, 2007.

LEESE, G.; SCHOFIELD, C.; MCMURRAY, B.; LIBBY, G.; GOLDEN, J.; MACALPINE, R.; CUNNINGHAM, S.; MORRIS, A.; FLETT, M.; GRIFFITHS, G. Scottish foot ulcer risk score predicts foot ulcer healing in a regional specialist foot clinic. **Diabetes care**, 30, n. 8, p. 2064-2069, 2007.

LIM, J. Z. M.; NG, N. S. L.; THOMAS, C. Prevention and treatment of diabetic foot ulcers. **Journal of the Royal Society of Medicine**, 110, n. 3, p. 104-109, 2017.

LIMA, R. P. S.; BRIOSCHI, M. L.; TEIXEIRA, M. J.; NEVES, E. B. Análise termográfica de corpo inteiro: indicações para investigação de dores crônicas e diagnóstico complementar de disfunções secundárias. **Pan American Journal of Medical Thermology**, 2, n. 2, p. 70-77, 2015.

LIU, C.; VAN NETTEN, J. J.; VAN BAAL, J. G.; BUS, S. A.; VAN DER HEIJDEN, F. Automatic detection of diabetic foot complications with infrared thermography by asymmetric analysis. **Journal of biomedical optics**, 20, n. 2, p. 1-11, 2015.

LUZ, T. G. R.; CONINK, J. C. P.; ULBRICHT, L. Análise de termogramas de mama para identificar tumores malignos e benignos. *In*: XII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, IX SIMPÓSIO DE INSTRUMENTAÇÃO E IMAGENS MÉDICAS, 2019, Uberlândia. **Anais [...]**. SBEB, p. 1-4.

MACDONALD, A.; PETROVA, N.; AINARKAR, S.; ALLEN, J.; PLASSMANN, P.; WHITTAM, A.; BEVANS, J.; RING, F.; KLUWE, B.; SIMPSON, R. Thermal symmetry of healthy feet: a precursor to a thermal study of diabetic feet prior to skin breakdown. **Physiological measurement**, 38, n. 1, p. 33-44, 2017.

MARCONI, M. d. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MARINS, J. C. B.; FERNANDES, A. A.; CANO, S. P.; MOREIRA, D. G.; DA SILVA, F. S.; COSTA, C. M. A.; FERNANDEZ-CUEVAS, I.; SILLERO-QUINTANA, M. Thermal body patterns for healthy Brazilian adults (male and female). **Journal of thermal biology**, 42, p. 1-8, 2014.

MENDES, R.; SOUSA, N.; ALMEIDA, A.; VILAÇA-ALVES, J.; REIS, V. M.; NEVES, E. B. Thermography: a technique for assessing the risk of developing diabetic foot disorders. **Postgraduate medical journal**, 91, n. 1079, p. 538-538, 2015.

MISHRA, S. C.; CHHATBAR, K. C.; KASHIKAR, A.; MEHNDIRATTA, A. Diabetic foot. **Bmj**, 359, n. 1, p. 1-7, 2017.

MORAIS, K.; VARGAS, J.; REISEMBERGER, G.; FREITAS, F.; OLIARI, S.; BRIOSCHI, M.; LOUVEIRA, M.; SPAUTZ, C.; DIAS, F.; GASPERIN JR, P. An infrared image based methodology for breast lesions screening. **Infrared Physics & Technology**, 76, p. 710-721, 2016.

MORI, T.; NAGASE, T.; TAKEHARA, K.; OE, M.; OHASHI, Y.; AMEMIYA, A.; NOGUCHI, H.; UEKI, K.; KADOWAKI, T.; SANADA, H. Morphological pattern classification system for plantar thermography of patients with diabetes. **Journal of diabetes science and technology**, 7, n. 5, p. 1102-1112, 2013.

MORRISON, S.; NAKAMURA, K. Central mechanisms for thermoregulation. **Annual review of physiology**, 81, p. 285-308, 2019.

NAGASE, T.; SANADA, H.; TAKEHARA, K.; OE, M.; IIZAKA, S.; OHASHI, Y.; OBA, M.; KADOWAKI, T.; NAKAGAMI, G. Variations of plantar thermographic patterns in normal controls and non-ulcer diabetic patients: novel classification using angiosome concept. **Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery**, 64, n. 7, p. 860-866, 2011.

NAHM, F. S. Infrared thermography in pain medicine. **The Korean journal of pain**, 26, n. 3, p. 219-222, 2013.

NAHM, F. S. Nonparametric statistical tests for the continuous data: the basic concept and the practical use. **Korean journal of anesthesiology**, 69, n. 1, p. 1-7, 2016.

NAJAFI, B.; WROBEL, J. S.; GREWAL, G.; MENZIES, R. A.; TALAL, T. K.; ZIRIE, M.; ARMSTRONG, D. G. Plantar temperature response to walking in diabetes with and without acute Charcot: the Charcot activity response test. **Journal of aging research**, 2012, p. 1-5, 2012.

NEVES, E. B.; ALMEIDA, A. J.; ROSA, C.; VILACA-ALVES, J.; REIS, V. M.; MENDES, R. Anthropometric profile and diabetic foot risk: a cross-sectional study using thermography. *In: 37th ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY (EMBC), 2015a, Milan. Proceedings [...]. IEEE, p. 1-3.*

NEVES, E. B.; SALAMUNES, A. C. C.; DE OLIVEIRA, R. M.; STADNIK, A. M. W. Effect of body fat and gender on body temperature distribution. **Journal of thermal biology**, 70, p. 1-8, 2017.

NEVES, E. B.; SALAMUNES, A. C. C.; STADNIK, A. M. Mathematical model for body fat percentage in military using thermal imaging and circumferences. *In*: 40th ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY (EMBC), 2018, Honolulu. **Proceedings [...]**. IEEE, p. 790-793.

NEVES, E. B.; VILAÇA-ALVES, J.; NOGUEIRA, I. R. A.; REIS, V. M. Influence of subcutaneous fat layer in skin temperature. **Motricidade**, 11, n. 4, p. 120-126, 2015b.

NIU, H.-H.; LUI, P.-W.; HU, J. S.; TING, C.-K.; YIN, Y.-C.; LO, Y.-L.; LIU, L.; LEE, T.-Y. Thermal symmetry of skin temperature: normative data of normal subjects in Taiwan. **Chinese Medical Journal - Taipei**, 64, n. 8, p. 459-468, 2001.

OLIVER, T. I.; MUTLUOGLU, M. Diabetic foot ulcer. *In*: **StatPearls [Internet]**: StatPearls Publishing, 2019.

OU, H.-T.; LEE, T.-Y.; LI, C.-Y.; WU, J.-S.; SUN, Z.-J. Incidence of diabetes-related complications in Chinese patients with type 1 diabetes: a population-based longitudinal cohort study in Taiwan. **BMJ open**, 7, n. 6, p. 1-11, 2017.

PAVITHRA, P.; RAVICHANDRAN, K.; SEKAR, K.; MANIKANDAN, R. The effect of thermography on breast cancer detection. **Systematic Reviews in Pharmacy**, 9, n. 1, p. 10-16, 2018.

PEREGRINA-BARRETO, H.; MORALES-HERNANDEZ, L. A.; RANGEL-MAGDALENO, J.; AVINA-CERVANTES, J. G.; RAMIREZ-CORTES, J. M.; MORALES-CAPORAL, R. Quantitative estimation of temperature variations in plantar angiosomes: a study case for diabetic foot. **Computational and mathematical methods in medicine**, p. 1-10, 2014.

PETERS, E.; LIPSKY, B.; ARAGÓN-SÁNCHEZ, J.; BOYKO, E.; DIGGLE, M.; EMBIL, J.; KONO, S.; LAVERY, L.; SENNEVILLE, E.; URBANČIČ-ROVAN, V. Interventions in the management of infection in the foot in diabetes: a systematic review. **Diabetes/metabolism research and reviews**, 32, p. 145-153, 2016.

PETROVA, N.; DONALDSON, N. K.; TANG, W.; MACDONALD, A.; ALLEN, J.; LOMAS, C.; LEECH, N.; AINARKAR, S.; BEVANS, J.; PLASSMANN, P. Infrared thermography and ulcer prevention in the high-risk diabetic foot: data from a single-

blind multicentre controlled clinical trial. **Diabetic Medicine**, 37, n. 1, p. 95-104, 2020.

PETROVA, N.; TANG, W.; MACDONALD, A.; LOMAS, C.; AINARKAR, S.; BEVANS, J.; ALLEN, J.; PLASSMANN, P.; MACHIN, G.; EDMONDS, M. The use of thermal imaging in the follow-up of healed diabetic foot ulcers. **Diabetic Medicine**, 34, p. 135-135, 2017.

PETROVA, N.; WHITTAM, A.; MACDONALD, A.; AINARKAR, S.; DONALDSON, A.; BEVANS, J.; ALLEN, J.; PLASSMANN, P.; KLUWE, B.; RING, F. Reliability of a novel thermal imaging system for temperature assessment of healthy feet. **Journal of Foot and Ankle Research**, 11, n. 1, p. 1-6, 2018.

PINTO, C. H.; ARANHA, N. Construção de radiotelescópio para análise de micro-ondas solares em 12 GHz. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 40, n. 2, 2018.

PRADHAN, S.; KARIYAPPA, M. Infrared thermal imaging for interpreting complications of diabetic foot ulcers: a case control study. **International Journal of Contemporary Medical Research**, 3, n. 9, p. 2757-2759, 2016.

RAZALI, N. M.; WAH, Y. B. Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. **Journal of statistical modeling and analytics**, 2, n. 1, p. 21-33, 2011.

RENERO-C, F.-J. The thermoregulation of healthy individuals, overweight–obese, and diabetic from the plantar skin thermogram: a clue to predict the diabetic foot. **Diabetic foot & ankle**, 8, n. 1, p. 1-8, 2017.

RENERO-C, F.-J. The abrupt temperature changes in the plantar skin thermogram of the diabetic patient: looking in to prevent the insidious ulcers. **Diabetic foot & ankle**, 9, n. 1, p. 1-6, 2018.

RIGATO, M.; MONAMI, M.; FADINI, G. P. Autologous cell therapy for peripheral arterial disease: systematic review and meta-analysis of randomized, nonrandomized, and noncontrolled studies. **Circulation research**, 120, n. 8, p. 1326-1340, 2017.

RING, E. The historical development of temperature measurement in medicine. **Infrared physics & technology**, 49, n. 3, p. 297-301, 2007.

RING, E.; AMMER, K. Infrared thermal imaging in medicine. **Physiological measurement**, 33, n. 3, p. 33-46, 2012.

RING, F. Thermal imaging today and its relevance to diabetes. **Journal of diabetes science and technology**, 4, n. 4, p. 857-862, 2010.

RING, F. J. Pioneering progress in infrared imaging in medicine. **Quantitative InfraRed Thermography Journal**, 11, n. 1, p. 57-65, 2014.

ROGALSKI, A. Recent progress in infrared detector technologies. **Infrared Physics & Technology**, 54, n. 3, p. 136-154, 2011.

ROMANOVSKY, A. A. Skin temperature: its role in thermoregulation. **Acta physiologica**, 210, n. 3, p. 498-507, 2014.

SALAMUNES, A. C. C.; STADNIK, A. M. W.; NEVES, E. B. The effect of body fat percentage and body fat distribution on skin surface temperature with infrared thermography. **Journal of thermal biology**, 66, p. 1-9, 2017.

SALEH, A.; MAKHAMREH, H.; QOUSOOS, T.; ALAWWA, I.; ALSMADY, M.; SALAH, Z. A.; SHAKHATREH, A.; ALHAZAYMEH, L.; JABBER, M. Prevalence of previously unrecognized peripheral arterial disease in patients undergoing coronary angiography. **Medicine**, 97, n. 29, 2018.

SCHAPER, N.; VAN NETTEN, J.; APELQVIST, J.; LIPSKY, B.; BAKKER, K.; FOOT, I. W. G. o. t. D. Prevention and management of foot problems in diabetes: a Summary Guidance for Daily Practice 2015, based on the IWGDF Guidance Documents. **Diabetes/metabolism research and reviews**, 32, p. 7-15, 2016.

SCHAPER, N. C.; VAN NETTEN, J. J.; APELQVIST, J.; BUS, S. A.; HINCHLIFFE, R. J.; LIPSKY, B. A.; BOARD, I. E. Practical Guidelines on the prevention and management of diabetic foot disease (IWGDF 2019 update). **Diabetes/Metabolism Research and Reviews**, 36, p. 1-10, 2020.

SCHOBER, P.; BOER, C.; SCHWARTE, L. A. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. **Anesthesia & Analgesia**, 126, n. 5, p. 1763-1768, 2018.

SCHUSTER, A.; THIELECKE, M.; RAHARIMANGA, V.; RAMAROKOTO, C. E.; ROGIER, C.; KRANTZ, I.; FELDMEIER, H. High-resolution infrared thermography: a new tool to assess tungiasis-associated inflammation of the skin. **Tropical medicine and health**, 45, n. 1, p. 1-13, 2017.

SEEBRAT, J.; BEOVICH, D.; DRAKE, J.; LINDSEY, W. T. Diabetic peripheral neuropathy. **Alabama Pharmacy Association**, n. Fall 2015, p. 1-9, 2015.

SILVA, N. C.; CASTRO, H. A.; CARVALHO, L. C.; CHAVES, É. C.; RUELA, L. O.; IUNES, D. H. Reliability of infrared thermography images in the analysis of the plantar surface temperature in diabetes mellitus. **Journal of chiropractic medicine**, 17, n. 1, p. 30-35, 2018.

SINGLETON, J. R.; SMITH, A. G. The diabetic neuropathies: practical and rational therapy. **Seminars in neurology**, 32, n. 03, p. 196-203, 2012.

SIVANANDAM, S.; ANBURAJAN, M.; VENKATRAMAN, B.; MENAKA, M.; SHARATH, D. Medical thermography: a diagnostic approach for type 2 diabetes based on non-contact infrared thermal imaging. **Endocrine**, 42, n. 2, p. 343-351, 2012.

SIVANANDAM, S.; ANBURAJAN, M.; VENKATRAMAN, B.; MENAKA, M.; SHARATH, D. Estimation of blood glucose by non-invasive infrared thermography for diagnosis of type 2 diabetes: an alternative for blood sample extraction. **Molecular and cellular endocrinology**, 367, n. 1, p. 57-63, 2013.

SMITH, A. G.; ROSE, K.; SINGLETON, J. R. Idiopathic neuropathy patients are at high risk for metabolic syndrome. **Journal of the neurological sciences**, 273, n. 1-2, p. 25-28, 2008.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES. **Diretrizes da Sociedade Brasileira de Diabetes 2019-2020**. São Paulo: Clannad, 2019.

SOUZA, G. A. G. R. d.; BRIOSCHI, M. L.; VARGAS, J. V. C.; MORAIS, K. C. C.; DALMASO NETO, C.; NEVES, E. B. Reference breast temperature: proposal of an equation. **Einstein (São Paulo)**, 13, n. 4, p. 518-524, 2015.

STAFFA, E.; BERNARD, V.; KUBICEK, L.; VLACHOVSKY, R.; VLK, D.; MORNSTEIN, V.; BOUREK, A.; STAFFA, R. Infrared thermography as option for evaluating the treatment effect of percutaneous transluminal angioplasty by patients with peripheral arterial disease. **Vascular**, 25, n. 1, p. 42-49, 2017.

STURGEON, C.; CASSAR, K.; FALZON, O. Thermographic imaging in diabetic patients with critical limb ischemia undergoing endovascular revascularisation. **J Angiol Circulat Sys** 1, n. 1, p. 1-8, 2019.

SUDHA, B.; UMADEVI, V.; SHIVARAM, J. M. Thermal image acquisition and segmentation of human foot. *In*: 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SIGNAL PROCESSING AND INTEGRATED NETWORKS (SPIN), 2017, Noida. **Proceedings** [...]. IEEE, p. 80-85.



SUDHA, B.; UMADEVI, V.; SHIVARAM, J. M.; SIKKANDAR, M. Y.; AL AMOUDI, A.; CHALUVANARAYANA, H. Statistical analysis of surface temperature distribution pattern in plantar foot of healthy and diabetic subjects using thermography. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATION AND SIGNAL PROCESSING (ICCSP)*, 2018, Chennai. **Proceedings** [...]. IEEE, p. 219-223.

SUN, P.-C.; LIN, H.-D.; JAO, S.-H. E.; KU, Y.-C.; CHAN, R.-C.; CHENG, C.-K. Relationship of skin temperature to sympathetic dysfunction in diabetic at-risk feet. **Diabetes research and clinical practice**, 73, n. 1, p. 41-46, 2006.

SUTKOWSKA, E.; SUTKOWSKI, K.; SOKOŁOWSKI, M.; FRANEK, E.; DRAGAN, S. Distribution of the highest plantar pressure regions in patients with diabetes and its association with peripheral neuropathy, gender, age, and BMI: one centre study. **Journal of diabetes research**, p. 1-11, 2019.

TESFAYE, S.; SELVARAJAH, D. Advances in the epidemiology, pathogenesis and management of diabetic peripheral neuropathy. **Diabetes/metabolism research and reviews**, 28, n. S1, p. 8-14, 2012.

VAN DOREMALEN, R. F.; VAN NETTEN, J. J.; VAN BAAL, J. G.; VOLLENBROEK-HUTTEN, M. M.; VAN DER HEIJDEN, F. Infrared 3D thermography for inflammation detection in diabetic foot disease: a proof of concept. **Journal of diabetes science and technology**, 14, n. 1, p. 46-54, 2020.

VAN NETTEN, J. J.; PRICE, P. E.; LAVERY, L. A.; MONTEIRO-SOARES, M.; RASMUSSEN, A.; JUBIZ, Y.; BUS, S. A.; FOOT, I. W. G. o. t. D. Prevention of foot ulcers in the at-risk patient with diabetes: a systematic review. **Diabetes/metabolism research and reviews**, 32, p. 84-98, 2016.

VAN NETTEN, J. J.; PRIJS, M.; VAN BAAL, J. G.; LIU, C.; VAN DER HEIJDEN, F.; BUS, S. A. Diagnostic values for skin temperature assessment to detect diabetes-related foot complications. **Diabetes technology & therapeutics**, 16, n. 11, p. 714-721, 2014.

VAN NETTEN, J. J.; VAN BAAL, J. G.; LIU, C.; VAN DER HEIJDEN, F.; BUS, S. A. Infrared thermal imaging for automated detection of diabetic foot complications. **Journal of diabetes science and technology**, 7, n. 5, p. 1122- 1129, 2013.

VARDASCA, R.; MAGALHAES, C.; SEIXAS, A.; CARVALHO, R.; MENDES, J. Diabetic foot monitoring using dynamic thermography and AI classifiers. *In: 3rd QUANTITATIVE INFRARED THERMOGRAPHY ASIA CONFERENCE (QIRT ASIA)*, 2019, Tokyo. **Proceedings** [...]. IEEE, p. 1-5.

VARDASCA, R.; RING, E.; PLASSMANN, P.; JONES, C. Thermal symmetry of the upper and lower extremities in healthy subjects. **Thermology international**, 22, n. 2, p. 53-60, 2012.

VOLMER-THOLE, M.; LOBMANN, R. Neuropathy and diabetic foot syndrome. **International journal of molecular sciences**, 17, n. 6, p. 1-11, 2016.

WIJLENS, A. M.; HOLLOWAY, S.; BUS, S. A.; VAN NETTEN, J. J. An explorative study on the validity of various definitions of a 2· 2° C temperature threshold as warning signal for impending diabetic foot ulceration. **International wound journal**, 14, n. 6, p. 1346-1351, 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Physical status: The use of and interpretation of anthropometry, Report of a WHO Expert Committee**. World Health Organization, 1995.

XIE, J.; WANG, Y.; LIU, W.; YIN, X.; CHEN, L.; ZOU, Y.; DIWU, J.; CHAI, Z.; ALBRECHT-SCHMITT, T. E.; LIU, G. Highly sensitive detection of ionizing radiations by a photoluminescent uranyl organic framework. **Angewandte Chemie**, 129, n. 26, p. 7608-7612, 2017.

YAVUZ, M.; ERSEN, A.; HARTOS, J.; LAVERY, L. A.; WUKICH, D. K.; HIRSCHMAN, G. B.; ARMSTRONG, D. G.; QUIBEN, M. U.; ADAMS, L. S. Temperature as a causative factor in diabetic foot ulcers: a call to revisit ulceration pathomechanics. **Journal of the American Podiatric Medical Association**, 109, n. 5, p. 345-350, 2019.

YAZDANPANA, L.; NASIRI, M.; ADARVISHI, S. Literature review on the management of diabetic foot ulcer. **World journal of diabetes**, 6, n. 1, p. 37-53, 2015.

ZHANG, P.; LU, J.; JING, Y.; TANG, S.; ZHU, D.; BI, Y. Global epidemiology of diabetic foot ulceration: a systematic review and meta-analysis. **Annals of medicine**, 49, n. 2, p. 106-116, 2017.

ZIS, P.; SARRIGIANNIS, P. G.; RAO, D. G.; HADJIVASSILIOU, M. Gluten neuropathy: prevalence of neuropathic pain and the role of gluten-free diet. **Journal of neurology**, 265, n. 10, p. 2231-2236, 2018.

ZOLET, C. M.; ULBRICHT, L.; ROMANELI, E. F.; NEVES, E. B. Thermal asymmetries and mean foot temperature. *In*: 41st ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY (EMBC), 2019, Berlin. **Proceedings** [...]. IEEE, p. 2821-2824.

ZUBAIR, M.; MALIK, M.; AHMAD, J. Diabetic foot ulcer: a review. **American Journal of Internal Medicine**, 3, n. 2, p. 28-49, 2015.

## APÊNDICE A – RESUMO DE PUBLICAÇÃO

### Thermal Asymmetries and Mean Foot Temperature

Cerise M. L. S. Zolet, Leandra Ulbricht, Eduardo F. R. Romaneli, and Eduardo B. Neves

*Abstract* -Foot problems can cause pain and discomfort, limiting the activities of many individuals. Infrared thermography may be useful for early detection of abnormal temperatures using various ways of calculating the mean foot temperature (MFT) to analyze asymmetries and differences between different groups. The aim of this study was to compare two protocols for calculating the MFT, identifying the magnitude of asymmetries in several regions and their correlations with the forehead temperature and brain temperature tunnel(BTT).Nineteen healthy volunteers of both genders aged between 18 and 55 years participated in the study.Data collection included anamnesis, body mass measurement, stature, glycaemia, body core temperature and acquisition of thermal images of the feet and face. The Wilcoxon test revealed that the mean foot temperature calculated using hallux, 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup>, 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> toes, 1<sup>st</sup>, 3<sup>rd</sup> and 5<sup>th</sup> metatarsal heads and heel, was lower than that calculated without the four lesser toes ( $Z = -2.636$ ,  $p = 0.008$ ).However, the asymmetry between the two feet was the same in both cases (medianof 0.4 °C). The correlations of the MFT with the forehead temperature and BTT were positive and significant for the two forms of calculation, and the correlation was stronger when all toes were used to calculate the mean (forehead:  $\rho = 0.654$ ,  $p = 0.002$ , BTT:  $\rho = 0.617$ ,  $p = 0.005$ ). The study showed the relevance of the toes in the analysis of the MFT, and it may be important to evaluate asymmetries in the toes to detect abnormal thermal patterns. This finding suggests that it is preferable to use MFT calculated with all toes.

musculoskeletal diseases[6, 7], digestive disorders[8], among others.

IRT can detect changes related to sensitivity, blood circulation and inflammatory lesions in the feet[9]. One of the main complications of diabetes mellitus is the appearance of foot ulcers associated with peripheral neurological and/or vascular disorders [1, 10]. For this reason, it is important to identify the risks early in order to better control the disease[10]. Thus, there are many studies on diabetic foot IRT which mainly assess the thermal asymmetries in contralateral regions [2, 5, 10].

One of the most widely used ways to analyze foot temperatures is to determine the mean foot temperature (MFT) in order to identify thermal asymmetries with abnormal patterns and to compare absolute temperatures of different groups, such as diabetic and healthy individuals. The literature presents several ways to calculate this indicator using different plantar regions[10-13].

The aim of this study was to compare two protocols for calculating the MFT, identifying the magnitude of asymmetries in several regions and their correlations with the temperature of the forehead and brain temperature tunnel (BTT).

## APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO DE PARTICIPAÇÃO

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)/ TERMO DE CONSENTIMENTO PARA USO DE IMAGEM E SOM DE VOZ (TCUISV)

**Título da pesquisa:** O USO DE IMAGENS TÉRMICAS NA AVALIAÇÃO DO RISCO DE COMPLICAÇÕES DO PÉ DIABÉTICO

**Pesquisador(es), com endereços e telefones:**

Cerise Maria de Lima Soffiatti Zolet

**Engenheiro ou médico ou orientador ou outro profissional responsável:**

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Borba Neves

**Local de realização da pesquisa:**

Laboratório de Ergonomia da UTFPR (LAERG): Av. Silva Jardim, 827, bloco V3, térreo, Curitiba-PR

#### A) INFORMAÇÕES AO PARTICIPANTE

##### 1. Apresentação da pesquisa.

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa que vai avaliar a temperatura da pele nas regiões da face e plantas dos pés por meio do exame de termografia. Esse exame é feito com uma câmera especial que capta a radiação emitida pela pele e faz o registro na forma de uma imagem colorida indicando as temperaturas nas regiões analisadas. Os pés serão imersos em água fria (15°C) por um minuto para verificar a recuperação da temperatura e para isso serão feitas novas imagens da planta dos pés logo após a retirada da água e após 5 e 10 minutos. Dessa forma será possível verificar a presença de problemas na circulação sanguínea nos pés, se houver diferenças de temperatura entre os dedos dos pés. Além disso, serão medidas sua altura e massa corporal, e também sua glicemia (glicose no sangue), para verificar se existe uma relação entre a glicemia e a temperatura da pele.

##### 2. Objetivos da pesquisa.

Realizar a análise termográfica da planta dos pés de portadores de diabetes *mellitus* e relacionar os níveis glicêmicos com a temperatura da pele.

##### 3. Participação na pesquisa.

Primeiramente você deverá responder a algumas perguntas sobre dados pessoais e clínicos, tais como doenças e medicamentos que utiliza. Em seguida, será verificada sua temperatura central com um termômetro de testa sem contato e serão feitas as imagens térmicas de sua face e plantas dos pés. Após isso, será feito um teste com frio, no qual você deverá colocar os pés numa bacia com água fria a 15°C por um minuto. Então serão feitas mais três imagens da planta dos pés: imediatamente após, 5 e 10 minutos após retirar os pés da água. Este teste serve para verificar sua reação após exposição ao frio, podendo detectar alterações na circulação sanguínea. No dia do exame, você deve usar roupas e sapatos confortáveis, que

permitam deixar livres as regiões do corpo que serão examinadas (face e pés). No dia do exame você também deve evitar exercícios físicos, banhos quentes, massagens, cremes, loções, maquiagens, bebidas com cafeína (café, chá mate, refrigerante de cola) e bebidas alcoólicas, pois podem alterar a circulação do sangue. Após as imagens térmicas, serão feitas as medidas de sua massa corporal e estatura, em uma balança e um estadiômetro portáteis. Em seguida será medida a glicose no sangue com um medidor portátil que utiliza somente uma gota de sangue retirada da ponta do dedo, com material descartável. Esses procedimentos serão realizados uma única vez, e terão duração aproximada de 40 minutos.

#### **4. Confidencialidade.**

Os procedimentos para coleta de dados serão realizados individualmente e com privacidade, na presença somente dos pesquisadores. As informações do estudo são confidenciais, com finalidade estritamente acadêmica e científica, e serão mantidas em sigilo absoluto, incluindo a identificação dos participantes, que será apresentada de forma codificada, em relatórios ou publicações.

#### **5. Desconfortos, Riscos e Benefícios.**

##### **5a) Desconfortos e ou Riscos:**

O participante poderá sofrer algum tipo de constrangimento no momento da anamnese quando terá que responder a questões pessoais e clínicas, e também quando forem feitas as medidas antropométricas (massa corporal e estatura). Para minimizar essa situação, os procedimentos serão realizados na presença somente dos pesquisadores. Durante a medição da glicemia, haverá o desconforto da punção para coleta de uma gota de sangue na polpa do dedo, porém, trata-se de um procedimento rápido no qual serão adotadas todas as medidas de boas práticas para prevenção de infecções, com o uso de luvas, lancetas e tiras reagentes descartáveis. A termografia é um método de exame não invasivo e indolor, que não emite radiações e não apresenta qualquer risco. Porém, durante o exame, poderá haver constrangimento devido à necessidade de serem mantidas descobertas as partes do corpo que serão examinadas, durante a captura das imagens. Para minimizar isso, os voluntários serão atendidos individualmente, com privacidade e somente na presença dos pesquisadores. A imersão dos pés em água fria poderá causar certo desconforto, porém a sensação de frio será breve, e o incômodo diminuirá assim que os pés forem retirados da água.

##### **5b) Benefícios:**

Os participantes, tanto diabéticos como não diabéticos, serão beneficiados pela realização do exame de termografia, uma vez que este poderá indicar precocemente alterações relacionadas a neuropatia, circulação sanguínea e inflamações. Além disso, eles terão acesso aos dados referentes a sua glicemia.

#### **6. Critérios de inclusão e exclusão.**

##### **6a) Inclusão:**

Os critérios de inclusão para o Grupo A (diabéticos) são: pessoas de ambos os gêneros, maiores de 18 anos, com diagnóstico de diabetes *mellitus*.

Os critérios de inclusão para o Grupo B (saúdáveis) são: pessoas de ambos os gêneros, maiores de 18 anos, que não tenham diagnóstico de diabetes.

**6b) Exclusão:**

Os critérios de exclusão para os dois grupos são: deformidades, lesões, úlceras nos pés ou histórico de amputação, gravidez.

**7. Direito de sair da pesquisa e a esclarecimentos durante o processo.**

É assegurado a você o direito de receber informações sobre a pesquisa e esclarecimentos de quaisquer dúvidas referentes a todas as etapas, ou seja, antes, durante e após a conclusão do estudo, incluindo os resultados do mesmo. Você tem a liberdade de se recusar a participar da pesquisa ou de retirar seu consentimento a qualquer momento, sem penalização. Você pode assinalar o campo a seguir, para receber o resultado desta pesquisa, caso seja de seu interesse:

(  ) quero receber os resultados da pesquisa (e-mail para envio:

\_\_\_\_\_)

(  ) não quero receber os resultados da pesquisa

**8. Ressarcimento ou indenização.**

Você não terá nenhuma despesa ao participar da pesquisa, logo, não terá direito a ressarcimento. Por outro lado, caso sofra algum dano decorrente do estudo, terá o direito a indenização, de acordo com a legislação vigente.

**ESCLARECIMENTOS SOBRE O COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA:**

O Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos (CEP) é constituído por uma equipe de profissionais com formação multidisciplinar que estão trabalhando para assegurar o respeito aos seus direitos como participante de pesquisa. Ele tem por objetivo avaliar se a pesquisa foi planejada e será executada de forma ética. Se você considerar que a pesquisa não está sendo realizada da forma como você foi informado ou que você está sendo prejudicado de alguma forma, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR). Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR, telefone: (41) 3310-4494, e-mail: [coep@utfpr.edu.br](mailto:coep@utfpr.edu.br)

**B) CONSENTIMENTO DE PARTICIPAÇÃO DA PESQUISA E DE USO DA IMAGEM**

Declaro ter conhecimento das informações contidas neste documento e ter recebido respostas claras às questões referentes à minha participação na pesquisa, eliminando quaisquer dúvidas. Declaro também, que compreendi o objetivo, a natureza, os riscos e os benefícios deste estudo.

Após reflexão, decidi, livre e voluntariamente, participar deste estudo, estando ciente de que não terei nenhuma despesa nem receberei pagamento algum por minha participação. Estou ciente também, de que posso deixar o projeto a qualquer momento, sem nenhuma penalização.

Permito que os pesquisadores relacionados neste documento obtenham fotografias e imagens térmicas de minha pessoa para fins de pesquisa científica/educacional.

Concordo que o material e as informações obtidas relacionadas a minha pessoa possam ser publicados em aulas, congressos, eventos científicos, palestras ou periódicos científicos. Porém, não devo ser identificado por nome ou qualquer outra forma.

As imagens ficarão sob a propriedade da pesquisadora pertinente ao estudo e sob sua guarda.

Compreendo que receberei uma via assinada e datada deste documento e que outra via assinada e datada ficará em poder da pesquisadora responsável pelo estudo.

Nome completo: \_\_\_\_\_

RG: \_\_\_\_\_ Data de Nascimento: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

Telefone: \_\_\_\_\_

Endereço: \_\_\_\_\_

CEP: \_\_\_\_\_ Cidade: \_\_\_\_\_ Estado: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_ Data: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

Eu declaro ter apresentado o estudo, explicado seus objetivos, natureza, riscos e benefícios e ter respondido da melhor forma possível às questões formuladas.

Assinatura pesquisador: \_\_\_\_\_ Data: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

(ou seu representante)

Nome completo: Cerise Maria de Lima Soffiatti Zolet

Para todas as questões relativas ao estudo ou para se retirar do mesmo, poderá se comunicar com Cerise Maria de Lima Soffiatti Zolet.

**Endereço do Comitê de Ética em Pesquisa para recurso ou reclamações do participante da pesquisa**

Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR)  
REITORIA: Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR, telefone: (41) 3310-4494, e-mail: [coep@utfpr.edu.br](mailto:coep@utfpr.edu.br)

**OBS:** este documento deve conter duas vias iguais, sendo uma pertencente ao pesquisador e outra ao participante da pesquisa.



## APÊNDICE C – FICHA DE ANAMNESE

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica (PPGEB)**  
**Pesquisadora: Cerise Zolet**

### FICHA DE ANAMNESE

Data coleta dados: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Horário: \_\_\_\_\_ N°: \_\_\_\_\_

1. Nome: \_\_\_\_\_

2. Endereço: \_\_\_\_\_

3. Telefone: \_\_\_\_\_ 4. E-mail: \_\_\_\_\_

5. Gênero: F ( ) M ( ) 6. Data nascimento: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ 7. Idade: \_\_\_\_\_

8. Grau de instrução: \_\_\_\_\_ 9. Ocupação: \_\_\_\_\_

10. Diagnóstico diabetes: ( ) não ( ) sim Tipo: \_\_\_\_\_ Há quanto tempo: \_\_\_\_\_

11. Uso de insulina: ( ) não ( ) sim Tipo: \_\_\_\_\_ Há quanto tempo: \_\_\_\_\_

12. Doenças: ( ) Cardíaca ( ) Vascular ( ) Hepática ( ) Renal ( ) Câncer ( ) Tireoide ( ) HAS

( ) Dislipidemia ( ) Asma ( ) Úlcera/deformação pés ( ) Amputações ( ) Doença arterial periférica

( ) Neuropatia ( ) Retinopatia

Outras: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

13. Medicamentos: Hipoglicemiantes orais: ( ) Não ( ) Sim Qual(is): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Outros: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

14. Glicemia: ( ) Controlada ( ) Descontrolada ( ) Não sabe

15. Histórico de diabetes na família ( ) não ( ) sim Grau parentesco: \_\_\_\_\_

16. Tabagismo: ( ) não ( ) sim ( ) ex-fumante há \_\_\_\_\_

17. Frequência de consumo de álcool: ( ) nunca ( ) \_\_\_vezes/\_\_\_\_\_

18. Atividade física: ( ) não ( ) sim Tipo/frequência/duração: \_\_\_\_\_

19. Infecções últimos 7 dias: ( ) não ( ) sim Tipo: \_\_\_\_\_

20. Nível estresse: ( ) Baixo ( ) Médio ( ) Alto

21. Massa corporal: \_\_\_\_\_ kg 22. Estatura: \_\_\_\_\_ m

23. IMC: \_\_\_\_\_ kg/m<sup>2</sup> Classificação: \_\_\_\_\_

24. Temperatura central: \_\_\_\_\_ °C 25. Glicemia: \_\_\_\_\_ mg/dL

Horário início da última refeição: \_\_\_\_\_

Última atividade física há \_\_\_\_\_ horas

Emissividade: 0,98; Temperatura ambiente: \_\_\_\_\_ °C; Umidade relativa do ar: \_\_\_\_\_ %