



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO PROGRAMA DE  
PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIAS DA SAÚDE E BIOLÓGICAS**

**DANIEL MÜLLER DA SILVA**

**AVANÇOS NO DIAGNÓSTICO NÃO INVASIVO DE LESÕES DE PELE: O uso de  
espectroscopia no infravermelho próximo**

**PETROLINA - 2024**

**AVANÇOS NO DIAGNÓSTICO NÃO INVASIVO DE LESÕES DE PELE: O uso de  
espetroscopia no infravermelho próximo**

Dissertação apresentado à  
Universidade Federal do Vale do São  
Francisco - UNIVASF, Campus  
Petrolina, como requisito da obtenção  
do Título de Mestre em Ciências da  
Saúde e Biológica.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Pereira  
Ramos

Coorientador: Prof. Dr. Edilson Beserra  
de Alencar

Coorientador: Prof. Dr. Daniel dos  
Santos Costa

S586a Silva, Daniel Müller da  
Avanços no diagnóstico não invasivo de lesões de pele: O uso de espectroscopia no infravermelho próximo / Daniel Müller da Silva. – Petrolina-PE, 2024.

xii, 78 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde e Biológicas) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Petrolina, Petrolina-PE, 2024.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Pereira Ramos.

1. Espectroscopia. 2. Câncer de pele. 3. Aprendizado de Máquina. I. Título. II. Ramos, Rodrigo Pereira. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 616.99477

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO PÓS-  
GRADUAÇÃO CIÊNCIAS DA SAÚDE E BIOLÓGICAS  
FOLHA DE APROVAÇÃO


DANIEL MÜLLER DA SILVA

AVANÇOS NO DIAGNÓSTICO NÃO INVASIVO DE LESÕES DE PELE: O uso de  
espectroscopia no infravermelho próximo

Dissertação apresentada como requisito  
para obtenção do título de Mestre em  
Ciências com ênfase na linha de  
pesquisa: Saúde, Sociedade e Ambiente,  
pela Universidade Federal do Vale do  
São Francisco.


Aprovado em 28 de agosto de 2024

**Banca Examinadora**

Documento assinado digitalmente  
 **RODRIGO PEREIRA RAMOS**  
Data: 28/08/2024 12:42:53-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Dr. Rodrigo Pereira Ramos Universidade Federal do Vale  
do São Francisco

Documento assinado digitalmente  
 **TANIA RITA MORENO DE OLIVEIRA FERNANDES**  
Data: 30/08/2024 10:19:33-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dra. Tânia Rita Moreno de Oliveira Fernandes  
Universidade Federal do Vale do São Francisco

Documento assinado digitalmente  
 **IVANI BRYs**  
Data: 28/08/2024 13:07:21-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dra. Ivani Brys Universidade Federal do Vale do São  
Francisco

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Dêlcio Costa da Silva e Nilvi Müller da Silva, pelo apoio durante todo o processo e pelo suporte emocional. Agradeço à Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) e ao Programa de Mestrado em Ciências da Saúde e Biológicas (PPGCSB) pelo suporte teórico e técnico, assim como à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Rodrigo Pereira Ramos, pela confiança, compreensão e pela orientação na construção do conhecimento. Também agradeço ao Professor Doutor Daniel Costa pela coorientação e pela disponibilidade do equipamento técnico utilizado.

Agradeço à UPAE Dr. Emanuel Alírio Brandão pelo espaço de prática e à clínica particular Ivan Galvão, localizada no Centro Empresarial Dr. Balduino.

Agradeço aos meus amigos Sidney Caique e ao Samuel Dickel e aos colegas de trabalho Filipe Costa e Wilker Geraldo pela disponibilização de horários para exercer atividade de pesquisa e em especial ao Diretor do Hospital Regional de Juazeiro Jose Antônio.

Em especial, agradeço à minha noiva, Rafhaella Ingridi da Conceição Silva, pelo apoio emocional ao longo de todo o projeto, pela ajuda na coleta das amostras e por estar ao meu lado em todos os momentos de dificuldade.

## RESUMO

O câncer de pele tem adquirido importância especial nas últimas décadas em virtude de sua crescente incidência. Hoje é considerado um problema de saúde pública no Brasil e no mundo. As neoplasias de pele são divididas em dois grandes grupos: câncer de pele melanocítico e o não melanocítico, para ambos o diagnóstico precoce é o fator determinante para a cura. O diagnóstico é realizado principalmente pela biópsia, procedimento invasivo, custoso financeiramente, com possibilidade de falha e com efeitos estéticos negativos, além de ser um procedimento de alta complexidade dentro do Sistema Único de Saúde (SUS). Dentro desse contexto, meios não invasivos de diagnóstico são de extrema importância, sendo positiva a incorporação no auxílio do diagnóstico. Nesse contexto a espectroscopia do infravermelho próximo (NIR) associado ao Aprendizado de Máquina (AM) pode apresentar resultados promissores. O objetivo principal do trabalho foi de avaliar a uso do NIR no auxílio do diagnóstico de lesões de pele *in-vivo* explorando técnicas de AM. Como objetivos complementares, foi explorado aspectos sociais e hábitos de fotoproteção com construção de um banco de imagem e de sinais espectrais. O presente estudo foi composto de três etapas distintas, sendo uma pesquisa com aspectos qualitativos e quantitativos (através de um formulário), coleta da espectroscopia com DLPNIRscan e foto da lesão com DermLite DL100 e processamento das espectroscopias com AM. Foi entrevistado 73 pacientes, 73 espectroscopia de pele saudável e 91 de lesões de pele. A maioria dos entrevistados foi do sexo feminino, com pele tipo II-IV de Fitzpatrick como mais prevalente, houve uma baixa adesão a meios de proteção solar na amostra estudada. Foi observada a presença de hiperutilizadores levando a uma grande demanda em reconsultas. A análise das características das lesões mostrou que o local mais predominante de ocorrência foi o rosto. A lesão neoplásica mais identificada foi o carcinoma basocelular e as lesões não neoplásica mais diagnosticadas foram o nevus e as ceratoses (actínica e seborreica). Após pré-processamento pela normalização e aplicação do filtro de Savitzky-Golay as espectroscopias foram processadas com aplicação da Análise de Componente Principal (PCA) em associação SNV - Validação Cruzada, os resultados foram dados pela matriz de confusão. Com o modelo foi possível atingir até foi possível atingir 89% de acurácia, 70% de sensibilidade e 95% de especificidade na distinção entre pele saudável e neoplasia, nível de precisão semelhante a de especialistas e se aproximando do padrão ouro, a histopatologia, destacando o potencial da NIR como uma ferramenta não invasiva para o diagnóstico de câncer de pele. **Palavras-chave:** Espectroscopia do Infravermelho Próximo; Diagnóstico não invasivo; Câncer de Pele.

## SUMMARY

Skin cancer has acquired special importance in recent decades due to its increasing incidence. Today it is considered a public health problem in Brazil and around the world. Skin neoplasms are divided into two large groups: melanocytic and non-melanocytic skin cancer, for both, early diagnosis is the determining factor for cure. The diagnosis is carried out mainly by biopsy, an invasive procedure, which is financially costly, with the possibility of failure and has negative aesthetic effects, in addition to being a highly complex procedure within the Unified Health System (SUS). Within this context, non-invasive means of diagnosis are extremely important, and their incorporation into diagnostic aids is positive. In this context, near-infrared spectroscopy (NIR) associated with Machine Learning (ML) presents promising results. The main objective of the work was to evaluate the use of NIR to aid the diagnosis of skin lesions in vivo using AM techniques. As a complementary objective, social aspects and photoprotection habits were explored with the construction of an image bank and spectral signals. The present study was composed of three distinct stages, being a research with qualitative and quantitative aspects (through a form), spectroscopy collection with DLPNIRscan and photo of the lesion with DermLite DL100 and processing of spectroscopy with AM. 73 patients were interviewed, 73 for healthy skin and 91 for skin lesions. The majority of interviewees were female, with Fitzpatrick skin type II-IV as the most prevalent, with low adherence to sun protection means in the sample studied. The presence of hyperusers was observed, leading to a high demand for re-consultations. Analysis of the characteristics of the injuries showed that the most predominant place of occurrence was the face. The most identified neoplastic lesion was basal cell carcinoma and the most diagnosed non-neoplastic lesions were nevi and keratoses (actinic and seborrheic). After pre-processing by normalization and application of the Savitzky-Golay filter, the spectroscopy was processed using Principal Component Analysis (PCA) in association with SNV - Cross Validation, the results were given by the confusion matrix. With the model it was possible to achieve 89% accuracy, 70% sensitivity and 95% specificity in distinguishing between healthy skin and neoplasia, a level of precision similar to that of specialists and approaching the gold standard, histopathology, highlighting the potential of NIR as a non-invasive tool for diagnosing skin cancer.

**Keywords:** Near Infrared Spectroscopy; Non-invasive diagnosis; Skin cancer.

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1** - Distribuição das idades da população entrevistada

**Tabela 2** – Distribuição de Fitzpatrick da população estudada

**Tabela 3** - Localização das lesões da amostra estuda

**Tabela 4** - Diagnostico de lesões e espectroscopias coletadas

**Tabela 5** - Matriz de confusão

**Tabela 6** - Resultados obtidos para as diversas combinações empregadas

**Tabela 7** – Resultado de trabalhos similares.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

**Figura 1** - Representação dos três estratos da pele

**Figura 2** - Os estratos da epiderme migração celular

**Figura 3** - Espectro eletromagnético. Em destaque a região do visível ao Infravermelho

**Figura 4** - Representação da SVM com Validação cruzada

**Figura 5** – Coleta de dados

**Figura 6** - Processamento das Espectroscopias

**Figura 7** - Dispositivo DLP NIRscan Nano realizado a coleta da espectroscopia

**Figura 8** – Amostras leões de pele coletadas por dermatoscópio

**Figura 9** - Conjunto de 73 espectroscopias da pele saudável

**Figura 10** – Curva espectral de 91 lesões de pele diversas

**Figura 11** - Conjunto de 73 espectroscopias da pele saudável normalizados

**Figura 12** - Curva espectral de 91 lesões de pele diversas normalizados

**Figura 13** – Lesões de pele após normalização e passagem do filtro de Savitzky-Golay

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SUS – Sistema Único de Saúde

NIR - *Near-infrared spectroscopy* (espectroscopia do infravermelho próximo)

TCLE – Termo de conhecimento livre e esclarecido

IMIP - Medicina Integral Professor Fernando Figueira

UPAE - Unidade de Pronto Atendimento e de Atenção Especializada de Petrolina

CEC - Carcinoma Espinocelular

CBC - Carcinoma Basocelular

*Scielo - Brasil Scientific Electronic Library Online*

*IEEE* - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos

BVS - Biblioteca Virtual em Saúde

LILACS - Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde

AM - Aprendizado de Máquina

SVMs - *Support Vector Machines*

CPMM - câncer de pele melanoma

CPNM - câncer de pele não melanoma

NIR - espectroscopia infra vermelho proximo

RNAs - Neurais Artificiais

LDA - Linear Discriminant Analysis

KNN - Nearest Neighbor

PCA - Principal Component Analysis

## SUMÁRIO

Lista de tabelas.....	8
Lista de ilustrações.....	9
Lista de abreviaturas e siglas.....	10
Sumário.....	11
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVOS PRINCIPAIS.....	15
1.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS.....	15
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
2.1 A PELE.....	16
2. 2 CÂNCER DE PELE.....	20
2. 2. 1 <b>Carcinoma Basocelular</b> .....	22
2. 2. 2 <b>Carcinoma Espinocelular</b> .....	23
2. 2. 3. <b>Melanoma</b> .....	25
2.3 ESPECTROSCOPIA DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO.....	28
2.4 APRENDIZAGEM DE MÁQUINA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.....	30
<b>3. MÉTODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
3.1 DESENHO DO ESTUDO.....	31
3.2 DETALHAMENTO DA COLETA DE DADOS.....	33
3.2.1 <b>Indivíduos</b> .....	33
3.2.2 <b>Locais de coleta</b> .....	34
3.2.3 <b>Aspectos Éticos</b> .....	35
3.2.4 <b>Instrumentos de coleta</b> .....	35
3.2.5 <b>Processamento das espectroscopias</b> .....	38
3.2.6 <b>Classificação dos sinais</b> .....	39
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>41</b>
4.1 ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS.....	41
4.1.1. <b>Idade e Gênero</b> .....	42
4.1.2. <b>Classificação Fenotípica</b> .....	43
4.1.3. <b>Profissão</b> .....	44
4.1.4. <b>Fotoproteção</b> .....	45
4.1.5. <b>Características das lesões.</b> .....	45

4.2 ANÁLISE DOS SINAIS DE ESPECTROSCOPIA.....	52
4.3 RELAÇÕES ENTRE ESPECTROSCOPIA E MODELOS BIOLÓGICOS.....	60
4.4 PERSPECTIVA E TRABALHOS FUTUROS.....	61
5. <b>CONCLUSÃO E REFLEXÕES FINAIS</b> .....	62
6. <b>REFERÊNCIAS</b> .....	66
7. <b>APENDICE</b> .....	76
7.1 PARECER COMITE DE ÉTICA.....	76

## 1. INTRODUÇÃO

A pele é o maior órgão do corpo humano, possuindo uma estrutura complexa e dinâmica que desempenha múltiplas funções em resposta aos estímulos do ambiente externo e interno. Ela é indispensável para a manutenção da vida e é também alvo de vários processos patológicos, sendo o câncer um dos mais associados à morbidade e mortalidade (VESTITA, TEDESCHI, BONAMONTE; 2022).

O termo "câncer" é empregado para descrever um conjunto diversificado de mais de cem doenças, caracterizadas pelo crescimento desordenado de células que invadem tecidos e órgãos. Sua etiologia é multifatorial, envolvendo alterações genéticas, fatores ambientais e comportamentais, os quais são determinantes para o seu desenvolvimento (INCA, 2021).

O câncer de pele ganhou destaque nas últimas décadas, apresentando uma incidência crescente e tornando-se um problema de saúde pública não apenas no Brasil, mas globalmente (LEITER *et al.*, 2020). As neoplasias cutâneas estão diretamente relacionadas a áreas geográficas, constituição fenotípica e exposição à radiação ultravioleta.

O diagnóstico do câncer de pele inicia-se com a anamnese e o exame clínico, utilizando a inspeção visual da pele do paciente e, quando necessário, a avaliação com dermatoscópio. Este último proporciona uma visualização ampliada da lesão, com a possibilidade de uso de filtros, seguida, quando necessário, pela biópsia da lesão com análise histopatológica (INCA, 2020). Esse processo pode apresentar falhas, requerer re-coletas e resultar em laudos inconclusivos, além de demandar um centro de alta complexidade em saúde, tanto de recurso humano como tecnológico (SOUZA *et al.*, 2019).

O câncer de pele apresenta um prognóstico favorável quando diagnosticado precocemente (NOGUEIRA-RODRIGUES *et al.*, 2019). A biópsia, quando indicada, deve considerar a profundidade da pele e as margens adjacentes em casos de preocupação com invasão local. Em alguns casos, múltiplas biópsias podem ser necessárias, com potenciais efeitos estéticos negativos (ANDRADE *et al.*, 2021).

Dentro do contexto do diagnóstico não invasivo, Ferreira *et al.* (2021) destacam o avanço das técnicas de dermatoscopia, uso de dermatoscópio polarizado, técnicas computacionais de análise, microscopia confocal e a

necessidade da implementação tecnológica para o diagnóstico precoce. Esse campo de desenvolvimento é de grande valia, pois aprimora os critérios de diagnóstico ao incorporar achados não visíveis à ectoscopia.

Considerando que a efetividade do tratamento está intimamente ligada ao diagnóstico precoce, torna-se imperativo aprimorar os mecanismos diagnósticos, preferencialmente adotando abordagens não invasivas. Nesse contexto, os métodos não invasivos desempenham um papel crucial, com a espectroscopia aliada à inteligência artificial sendo um campo em desenvolvimento com um excelente potencial.

Dentre as abordagens não invasivas, a análise da espectroscopia da pele com dispositivos diversos surge como uma candidata (BARCAUI; MIOT, 2020; WEBER *et al.*, 2018; YÉLAMOS *et al.*, 2019). Com o avanço tecnológico e o desenvolvimento de técnicas para analisar o espectro eletromagnético no infravermelho, tornou-se possível identificar compostos, especialmente biológicos, por meio de métodos analíticos qualitativos e quantitativos. Tais dados ainda podem ser aprimorados através de recursos computacionais como Aprendizagem de Máquina (AM) e inteligência artificial (IA) (FERREIRA *et al.*, 2015).

Diante dos progressos na implementação dessas novas tecnologias, surge ainda a possibilidade de avanços na telemedicina, especificamente na teledermatologia. Através da incorporação de tecnologias como aplicativos em *smartphones*, fotos em alta definição, uso de *softwares* para análise de imagem e do aprimoramento de novos recursos tecnológicos, são supridas lacunas na prestação de cuidados primários e terciário em saúde, aproximando o paciente da avaliação do especialista (YARAK *et al.*, 2017).

A análise da espectroscopia da pele é um dos recursos em desenvolvimento. Ela pode ser feita sem o contato presencial com o especialista, sendo uma abordagem que tem o potencial de reduzir significativamente o tempo de espera para pacientes afetados por lesões neoplásicas. O processamento e análise computacional também podem ser realizados de forma não assistida por meio de processos de aprendizado de máquina e processos automatizados criados através de inteligência artificial, como descrito no trabalho de LOSS *et al.*, (2024).

Segundo Mitchell (1997), o AM é um campo de pesquisa da inteligência computacional que estuda o desenvolvimento de métodos capazes de extrair conceitos (conhecimento) a partir de amostras de dados. Em geral, os diversos

algoritmos de AM são utilizados para gerar classificadores baseados em um conjunto de exemplos. No caso das espectroscopias, temos um conjunto de espectroscopias de pele saudável e um conjunto de espectroscopias de pele doente ou neoplásica.

Com o surgimento de recursos tecnológicos e o processamento de dados cada vez mais sofisticado, novas ferramentas e fenômenos físico-químicos estão sendo explorados na medicina. Atualmente, diversas aplicações biomédicas estão em desenvolvimento analisando o fenômeno da espectroscopia, devido às suas qualidades, como a mínima necessidade de preparação de amostras, potencial para análises quantitativas precisas, penetração mais profunda na amostra sem comprometer a estrutura, sendo adequada para exames *in vivo*. Por fim, essas vantagens se somam ao desenvolvimento de instrumentos portáteis de captação de sinais de espectroscopia (BEĆ; KRZYSZTOF; GRABSKA, *et al.*, 2020).

Levando em consideração a necessidade do diagnóstico precoce, os custos financeiros de biópsias, os casos de biópsias inconclusivas e o efeito estético negativo causado por elas, percebe-se a necessidade e importância de estudos na área do diagnóstico precoce, sendo a espectroscopia no infravermelho próximo uma técnica promissora. Com sua exploração, pode ser possível analisar lesões suspeitas indicando com melhor precisão a necessidade de biópsia, realizar a avaliação da margem de lesões neoplásicas, reduzindo o tamanho da excisão e ainda auxiliar no diagnóstico diferencial de lesões, todo o processo é realizado de forma não invasiva, com um dispositivo portátil.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar *in vivo* o uso de um dispositivo portátil de espectroscopia do infravermelho próximo para o auxílio no diagnóstico de lesões de pele em indivíduos da região do Vale do São Francisco.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar, em relação a fatores preditores de lesões de pele dos indivíduos, o perfil de pacientes que procuram ou foram encaminhados para atendimento especializado em dermatologia;

- Avaliar a topografia das lesões de pele em pacientes que procuram a atenção especializada em dermatologia;
- Explorar as potencialidades de novos dispositivos de espectroscopia no infravermelho próximo para o diagnóstico de lesões de pele;
- Utilizar recursos de aprendizado de máquina na análise das espectroscopias de pele;
- Criar um banco de dados de sinais de espectroscopia de pele de indivíduos brasileiros residentes no Vale do São Francisco;
- Criar um banco de dados de dermatoscopia de lesões de indivíduos brasileiros residentes no Vale do São Francisco.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

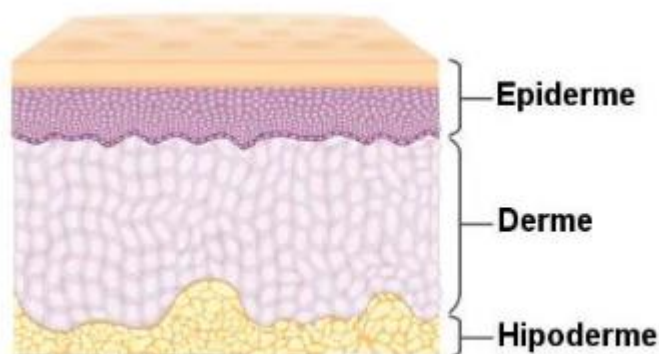
### **2.1 A PELE**

A pele desempenha variadas funções vitais para os seres humanos e é o maior órgão do corpo, sendo responsável por 16% do peso corporal. Age como envoltório e é a primeira linha de defesa entre o ambiente externo e a parte interna do corpo. Dentre suas funções, as principais são a proteção contra agressores externos físicos ou químicos, proteção contra lesões físicas, infecções, infestações, alérgenos, bem como a radiação ultravioleta, que é responsável por danos ao material genético (BOHJANEN, 2017).

Além da função de proteção, a pele também cumpre outras funções fisiológicas. Ela evita a perda de fluidos corporais, sangue e água; apresenta funções endócrinas como a síntese de vitamina D; participa do controle da temperatura corporal; é responsável pela função sensorial para o tato, dor, calor e frio. Por fim, há a função estética e social da pele. Suas funções são distribuídas em diferentes camadas, sendo ela dividida em epiderme, derme e hipoderme, como observado na Figura 1, onde estão representados os três estratos citados (ALVES et al., 2019).



**Figura 1** – Representação dos três estratos da pele.



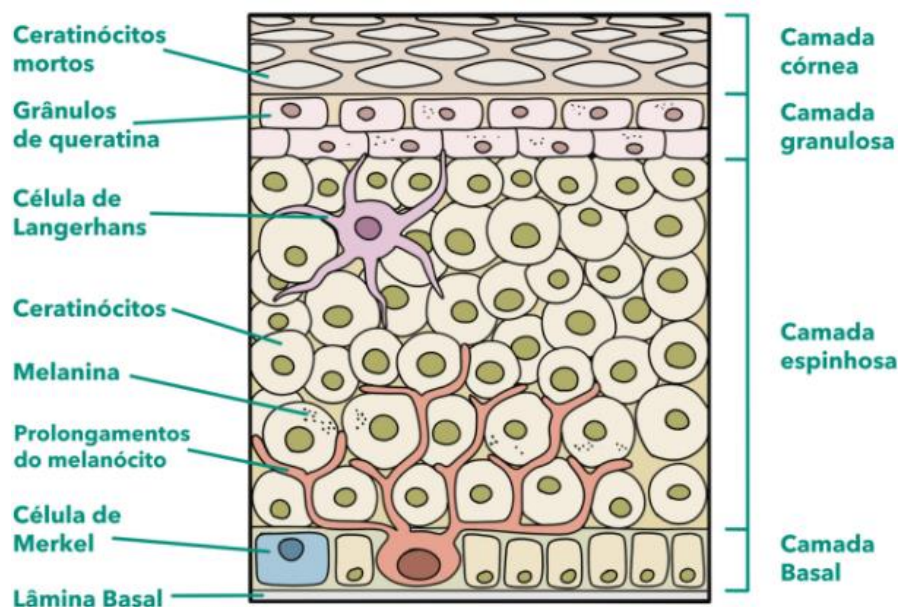
Fonte: (MARKS; KNIGHT; LAIDLER, 2020) – Adaptado.

A epiderme é a camada mais externa, sendo avascular e possuindo espessura variável de 75 a 150 micrômetros. Sua função primordial é a proteção contra agentes externos. Ela é dividida em cinco camadas: basal, espinhosa, granulosa, lúcida e córnea.

Na epiderme temos três principais tipos celulares, os queratinócitos que são as células mais abundantes da epiderme, responsáveis pela produção de queratina, uma proteína fibrosa que protege a pele. Já os melanócitos são responsáveis pela produção de melanina, o pigmento que dá cor à pele. Por fim temos as Células de Merkel Responsáveis pela sensação do tato, localizam-se na região profunda da epiderme e as Células de Langerhans que participam da proteção da pele, pois apresentam capacidade de fagocitose e de ativar os linfócitos T (LIMA *et al.*, 2022).

O estrato basal é onde ocorre a renovação celular, com a divisão contínua de queratinócitos. À medida que essas células ascendem para a superfície, passam pelos estratos espinhoso, granuloso e lúcido, onde sofrem processos de diferenciação e morte celular, resultando na formação do estrato córneo, composto por células mortas que são continuamente descamadas, em um processo contínuo e dinâmico (GILCHREST *et al.*, 2019), como ilustrado na Figura 2.

**Figura 2** – Os estratos da epiderme na migração celular.



Fonte: (ROSS; PAWLINA, 2016) – Adaptado

Ainda segundo a compilação dos estudos sobre a histopatologia de Ross e Pawlina (2016) a derme é a camada mais profunda, composta por tecido conjuntivo denso irregular. É ricamente constituída por fibras de colágeno e elastina, sendo capaz de promover a sustentação da epiderme. Sua espessura pode variar de 0,6 mm (regiões mais finas) até 3 mm.

A derme ainda apresenta três regiões distintas. A primeira é a região superficial ou papilar, que mantém contato com a epiderme, possuindo tecido conjuntivo frouxo, com predominância de feixes de fibras colagenosas, possuindo pequenos vasos linfáticos e sanguíneos, terminações nervosas, colágeno e elastina, corpúsculos de Meissner, e tem a função de fornecer nutrientes. A segunda camada é a profunda ou reticular, constituída por tecido conjuntivo denso não modelado, formada pela base dos folículos pilosos, glândulas, vasos linfáticos e sanguíneos, terminações nervosas, colágeno e elastina, e fornece oxigênio e nutrientes para a pele. A terceira região é a adventicial, circundada por folículos pilossebáceos, glândulas e vasos, sendo constituída por feixes finos de colágeno. Na derme, estão

presentes os anexos cutâneos, como glândulas sebáceas, sudoríparas e pelos, tendo influência na percepção estética (BERNARDO *et al.*, 2019).

Entre a epiderme e a derme, está presente a lâmina dermo-epidérmica, a qual permite que essas duas camadas estejam ancoradas. É sintetizada pela camada basal e tem como função ser uma barreira e filtro de nutrientes entre as camadas. A última camada é constituída pela hipoderme ou tela subcutânea, constituída por adipócitos com funções endócrinas, tendo as funções de armazenar reserva energética, proteger contra choques, formar uma manta térmica e modelar o corpo (ALVES *et al.*, 2019).

Segundo Johnson *et al.* (2020), a pele também desempenha um papel importante na termorregulação por meio da sudorese e da vasodilatação. As glândulas sudoríparas produzem suor, que ao evaporar da superfície da pele, ajuda a resfriar o corpo. Simultaneamente, a dilatação dos vasos sanguíneos na derme aumenta a circulação de sangue próximo à superfície da pele, facilitando a dissipação do calor.

Segundo Bernardo *et al.* (2019), a pele é um dos principais locais de interação com o meio ambiente. A percepção da etnia, idade, estado de saúde e atratividade está relacionada ao aspecto da pele e do cabelo. Lesões de pele, distúrbios do cabelo e alterações pigmentares podem produzir efeitos profundos na autoimagem, sendo está a função estética da pele.

Dada a importância da pele e suas múltiplas funções, o estudo e tratamento das doenças dermatológicas são de extrema necessidade dentro da saúde humana. Dentre as doenças que acometem a pele, o câncer é uma das patologias que mais trazem sequelas, além de prejudicar a qualidade de vida e de estar relacionada a gastos financeiros significativos (LINARES *et al.*, 2015).

A pele pode sofrer com os fenômenos patológicos básicos, que são determinados pelas variações morfológicas de seu tecido. Inicialmente, temos os nódulos, que são lesões circunscritas, elevadas e sólidas, com mais de 0,5 cm de diâmetro; um nódulo grande é denominado tumor. Ele é caracterizado por uma lesão que ocupa espaço na derme ou no tecido subcutâneo. Sua largura é tipicamente maior que a sua altura. Quando não está se expandindo, é classificado como benigno, e quando está, é classificado como maligno ou câncer. O aumento de tamanho é resultante da presença de infiltrado celular ou de acúmulo de metabólitos na derme profunda ou no tecido celular subcutâneo (LINARES *et al.*, 2015),

fenômeno fisiopatológico que será abordado posteriormente na análise da espectroscopia da pele.

A maioria das pessoas desenvolve várias pintas (nevus) durante a vida adulta principalmente em áreas com mais exposição ao sol. Na maioria dos casos, um nevo é benigno e não requer tratamento. Raramente, transformam-se em melanoma ou outros tipos de câncer de pele. Já um nevo que muda de forma, cresce ou escurece deve ser avaliado para remoção (ALSAYYAH, 2023).

O nevo atípico (displásico) é considerado um fator importante associado ao risco aumentado de desenvolvimento do melanoma cutâneo. Eles podem estar presentes em pacientes com múltiplos nevus melanocíticos (síndrome do nevo atípico) ou isolados. Geralmente, aparecem na puberdade e prevalecem em indivíduos jovens. Têm predileção por áreas expostas ao sol, especialmente, o tronco (DROZDOWSKI, *et. al.*, 2023.).

Em Irana *et. al.*, (2015), é apresentada a caracterização da queratose, ceratose ou verruga seborreica como principal representante de um tumor epitelial benigno que se forma pela proliferação epidérmica de células basais, que podem ser pigmentadas, sendo mais comuns a partir dos 50 anos e nos caucasianos. A etiologia é desconhecida, havendo associação familiar e a possibilidade de participação de fatores de crescimento em sua gênese. Algumas apresentações de ceratose fazem diagnóstico diferencial com câncer de pele não melanoma.

## 2.2 O CÂNCER DE PELE

O câncer de pele é o tipo de câncer mais prevalente na população mundial e no Brasil. Atualmente, ele se apresenta em dois tipos: o câncer de pele melanoma (CPMM) e o câncer de pele não melanoma (CPNM). Ambos se desenvolvem na camada epidérmica devido à proliferação autônoma, anormal e descontrolada das células que a compõem. Além de ser a neoplasia maligna mais comum diagnosticada no mundo, o câncer de pele está associado a morbidade substancial, perda de função, desfiguração e altos custos, atingindo ambos os sexos de todas as faixas etárias, principalmente após os 40 anos (LEITER *et al.*, 2019).

O CPNM é o mais comumente identificado e representa 90% de todos os casos de câncer de pele. Sua incidência tem aumentado, notadamente em faixas etárias cada vez mais jovens. Estima-se que um em cada quatro casos de câncer

diagnosticados origina-se na pele que, quando acometida, apresenta alterações na ectoscopia, como enrugamento, mudanças na pigmentação e perda de elasticidade (DIDONA, *et al.*, 2018).

O câncer de pele pode apresentar sintomas menos evidentes que incluem prurido, descamação e brilho (relacionado à oleosidade). Além disso, pode ocorrer uma mudança na coloração, deixando a pele translúcida, avermelhada, castanha e até multicolorida. Com a evolução da doença, podem surgir crostas, sangramentos e friabilidade. Nas lesões pigmentadas, podem ocorrer mudanças: nevos hiperpigmentados ou castanhos podem mudar de cor, forma e tamanho. Lesões e feridas que não cicatrizam também podem ser um indicativo de neoplasia (Bühning *et al.*, 2020).

A maioria dos cânceres de pele é causada por uma combinação de fatores de risco não modificáveis e modificáveis. Neste contexto, um dos principais contribuintes para o câncer de pele é a exposição à radiação UV, principalmente aquela emitida pelo sol e pelas câmaras de bronzamento, que tem efeito destrutivo nos genes e no DNA celular, desencadeando imunossupressão e inflamação, o que causa maior impacto na população (PFEIFER, 2020).

Existem três tipos de radiação ultravioleta: os raios UVC, que possuem um comprimento de onda mais curto e são filtrados pela camada de ozônio; os raios UVB, altamente energéticos, causadores de câncer de pele e queimaduras solares; e a radiação UVA, que possui maior absorção pela pele, podendo atingir os melanócitos, sendo o causador do envelhecimento, mudanças de pigmento e bronzamento. Por esses fatores, as neoplasias de pele também estão diretamente relacionadas a áreas geográficas, constituição fenotípica e exposição à radiação ultravioleta (PFEIFER, 2020).

As radiações UVA (entre 400-320 nanômetros (nm)) e UVB (320-20 nm) são as mais patogênicas. A energia dessas radiações é absorvida pelos cromóforos, que se tornam instáveis, iniciando as respostas fotobiológicas de curto e longo prazo. Os cromóforos da pele incluem o DNA, que sofre vários tipos de danos, como quebras de fitas e reticulações, sendo diretamente envolvido na iniciação e progressão das neoplasias da pele. Entre os vários tipos de radiação ultravioleta, a UVC é a menos danosa, porque é bloqueada pelo ozônio presente na atmosfera (HOLICK, 2020).

Segundo Hasan *et al.* (2023), os cânceres de pele, felizmente, apresentam percentuais satisfatórios de cura no caso do tipo não melanoma, mas carecem de

um diagnóstico precoce e de um tratamento eficaz em praticamente todas as suas formas.

De acordo com a National Comprehensive Cancer Network (NCCN), o tratamento do CPNM deve sempre ter como prioridade a cura completa do tumor. Depois disso, as outras prioridades são: (1) preservação da pele sã adjacente; (2) preservação da função da área tratada; e (3) melhor resultado cosmético possível. Por fim, a NCCN recomenda que todos os CPNM sejam biopsiados antes de qualquer procedimento, permitindo a escolha mais apropriada do seu tratamento. No entanto, quando o diagnóstico clínico, a extensão ou o subtipo histológico não forem determinados antes do tratamento ou quando o tratamento não permitir a avaliação de margens, a NCCN recomenda a realização de uma nova biópsia após a cicatrização (SCHMULTS *et. al.*, 2021).

Ainda de acordo com a NCCN, a escolha do tratamento do CPNM também está relacionada com o comportamento biológico do tumor e com a presença de pelo menos um dos riscos de recorrência listados a seguir: diâmetro maior que 20 mm no tronco ou em extremidades; diâmetro maior que 10 mm em cabeça ou pescoço; diâmetro maior que 6 mm em genitália, mãos ou pés; bordas mal definidas; recidiva; imunossupressão; área previamente tratada com radioterapia; tipo histológico; e acometimento perineural. No entanto, sabe-se que cada CPNM representa uma escolha única de tratamento, devendo essa escolha ser feita avaliando-se a melhor relação entre o custo-benefício para o paciente.

O grupo de CPNM é subdividido em Carcinoma Basocelular (CBC) e Carcinoma Espinocelular (CEC), a maioria dos casos não é relatada nos registros de câncer em todo o mundo, mas estima-se que 80% dos cânceres de pele não melanoma sejam CBC e 20% sejam CEC (CRAYTHORNE; AL-NIAMI 2017).

### **2.2.1 Carcinoma Basocelular**

O CBC tem origem nas células basais, que se encontram na camada mais profunda da epiderme, sendo capaz de infiltrar e danificar tecidos circundantes. É o tipo mais comum de câncer de pele, e sua detecção precoce é crucial para um tratamento eficaz. Este apresenta baixa agressividade, com crescimento lento e boa perspectiva de cura quando ocorre a detecção precoce, havendo, entretanto, subtipos agressivos, podendo desencadear mortalidade significativa. Ele é

encontrado com frequência em locais mais expostos ao sol, como rosto, pescoço, orelhas, ombros, couro cabeludo e nariz, comprometendo a estética (LINARES *et al.*, 2015).

Sobre a oncopatogênese, destaca-se a mutação nos genes que regulam a via de sinalização Hedgehog, particularmente os genes PTCH1 e SMO, levando à proliferação descontrolada das células basais, resultando no desenvolvimento do CBC. A exposição à radiação UV é o principal fator ambiental que induz essas mutações, enquanto fatores genéticos, como a síndrome de Gorlin, também aumentam a predisposição ao CBC (RIMOIN *et al.*, 2013).

O CBC possui ainda uma classificação baseada nos padrões de crescimento, a saber: nodular, superficial, infiltrativo, esclerodermiforme, micronodular e de padrão misto. Essa classificação é baseada na conceituação de alto e baixo risco dos subtipos histológicos de CBC, delineando tratamentos mais agressivos ou não (SCHMULTS *et al.*, 2021).

Para o carcinoma basocelular, a cirurgia excisional é o tratamento mais comum, com alta taxa de cura. Técnicas cirúrgicas incluem excisão simples, curetagem e eletrodissecação, e cirurgia micrográfica de Mohs, sendo esta última a preferida para lesões de alto risco devido à sua precisão em remover o câncer com uma margem mínima de tecido saudável. Alternativamente, terapias tópicas e fotodinâmicas podem ser utilizadas para lesões superficiais (CARUCCI *et al.*, 2019; THOMPSON *et al.*, 2020).

Como citado anteriormente, como base na NCCN, a biópsia excisional é o tratamento padrão, devendo-se adotar a remoção total da lesão e suas margens. As margens cirúrgicas adotadas são geralmente de 4 mm para tumores menores do que 2 cm, com bordas definidas, e de 6 mm para tumores acima de 2 cm e/ou com contornos mal definidos.

### **2.2.2 Carcinoma Espinocelular**

O CEC é considerado um tumor maligno derivado dos ceratinócitos. O maior fator de risco para o seu desenvolvimento é a exposição crônica e excessiva ao sol; por isso também ocorre em áreas fotoexpostas. Também há estudos relacionando o CEC com a presença do papillomavírus humano (HPV) e com a imunossupressão (HARWOOD *et al.*, 2000).

A taxa de cura do CEC pode chegar a 95% quando detectado e tratado precocemente. No entanto, o poder de invasão, destruição tecidual e a chance de metástase desse câncer são maiores quando comparado ao CBC (PIRES *et al.*, 2014).

O CEC é o segundo tipo mais prevalente dentre todos os tipos de cânceres de pele. Origina-se das células escamosas, que constituem a maior parte das camadas superiores da pele, sendo mais predominante em pacientes do sexo masculino, a partir da sexta ou sétima década de vida, com uma evolução mais agressiva comparada ao CBC (LINARES *et al.*, 2015).

Sua patogênese está associada a múltiplas alterações genéticas locais, que podem provocar uma desregulação do ciclo celular, impedir a apoptose, o reparo do DNA, diferenciação celular e ação da telomerase, com a perda da senescência celular. O CEC tem maior risco de invadir o tecido gorduroso e outros órgãos, relacionando-se com a espessura da lesão e o grau de invasão subcutâneo. Morfologicamente, o CEC aparece como placas eritematosas, escamosas e bem definidas (MANCERO; WANG, 2014).

Embora também tratável cirurgicamente, o carcinoma espinocelular pode exigir tratamentos adicionais, como radioterapia, especialmente em casos de lesões grandes ou em locais difíceis de operar. A quimioterapia pode ser considerada em casos avançados ou metastáticos. Além disso, a imunoterapia, similar ao tratamento do melanoma, tem mostrado resultados promissores em casos de carcinoma espinocelular avançado (STRATTON *et al.*, 2021; JOUARY *et al.*, 2020).

O tratamento do carcinoma espinocelular (CEC) envolve uma abordagem multifacetada que inclui a cirurgia como o método principal, complementada por outras terapias, dependendo do estágio e a localização do tumor. A excisão cirúrgica é frequentemente considerada a intervenção de escolha, visando remover o tumor com margens de segurança adequadas para minimizar o risco de recorrência. Estudos indicam que margens cirúrgicas de 4 a 6 mm são geralmente recomendadas para CECs de baixo risco, enquanto tumores de alto risco ou localizados em áreas de difícil acesso podem necessitar de margens maiores, variando entre 6 e 10 mm (Nogueira *et al.*, 2021).

Além da cirurgia, podem ser necessários tratamentos complementares, como radioterapia e quimioterapia, especialmente em casos onde a excisão completa não é possível ou em tumores mais agressivos. A radioterapia é frequentemente utilizada



como adjuvante em pacientes com margens positivas, ou quando há invasão perineural, e em casos de metástases linfonodais. A quimioterapia sistêmica ou tópica, incluindo agentes como o 5-fluorouracil e imiquimod, é considerada em casos avançados ou recorrentes, proporcionando controle da doença e alívio sintomático.

### 2.2.3 Melanoma

O câncer tipo melanoma, conforme Saginala *et al.* (2021), tem origem nos melanócitos, células produtoras de melanina localizadas na epiderme, e geralmente está situado nas camadas basal e espinhosa da epiderme. O melanoma pode aparecer em qualquer parte do corpo, na pele ou nas mucosas, na forma de manchas, pintas ou sinais. Nos indivíduos de pele negra, ele é mais comum nas áreas claras, como palmas das mãos e plantas dos pés.

A fisiopatogenia do melanoma envolve uma complexa interação entre fatores genéticos e ambientais. A exposição excessiva à radiação ultravioleta é um fator ambiental chave que causa danos ao DNA e mutações nos genes reguladores do ciclo celular, como o gene BRAF, frequentemente mutado em melanomas. Essas mutações levam à proliferação descontrolada dos melanócitos e à progressão para malignidade (SAGINALA *et al.*, 2021; TRAVIS *et al.*, 2020).

Além dos fatores ambientais, alterações genéticas intrínsecas desempenham um papel crucial no desenvolvimento do melanoma. Mutações em genes supressores de tumor, como CDKN2A, que codifica as proteínas p16 e p14ARF, são frequentemente observadas em casos familiares de melanoma. Estas proteínas são fundamentais para a regulação do ciclo celular e prevenção da proliferação celular descontrolada. A perda de função dessas proteínas permite que as células melanocíticas proliferem de forma descontrolada, aumentando o risco de transformação maligna (CARVALHO *et al.*, 2019; KARIA *et al.*, 2021).

O melanoma possui uma forma de triagem diagnóstica chamada ABCDE representando: presença de assimetria (A), bordos irregulares e mal definidos (B), alterações de cor (C), diâmetro maior que 6 mm (D) e evolução/elevação recente da lesão (E). Os critérios ABCDE, por sua objetividade, são utilizados em conjunto com algoritmos computacionais de inteligência artificial como meio de auxílio ao diagnóstico, mostrando uma precisão maior que a do especialista a depender do estudo e técnica de processamento utilizada (ABBASI *et al.*, 2004).

O tratamento começa por excisão mais cuidadosa, permitindo a retirada de possível tumor residual. Em tumores com espessura menor do que 1 mm, a margem de segurança de 1 cm parece suficiente. Entre 1 e 2 mm de espessura, a margem seria de 2 cm e acima de 3 mm, margem lateral de 2 a 3 cm, dependendo da localização anatômica. Isto diminui as taxas de recorrência e deve ser feito ao mesmo tempo da pesquisa do linfonodo sentinela quando indicado (Nogueira *et al.*, 2021).

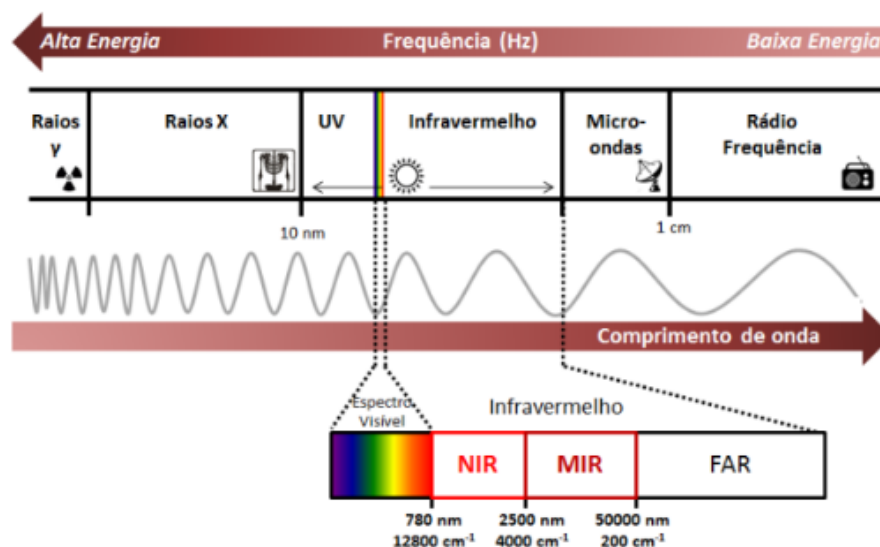
A biópsia do linfonodo sentinela é uma opção para pacientes com melanoma sem linfonodos clinicamente evidentes que têm risco significativo para micrometástases. Embora pacientes com lesões maiores de 4 mm de diâmetro apresentem grande risco para doença sistêmica, biópsia do linfonodo sentinela está indicada por ser de grande ajuda na definição da terapia adjuvante e na definição anatômica da drenagem linfática do tumor primário.

Em estágios mais avançados, pode-se utilizar terapias adjuvantes como imunoterapia e terapias alvo, têm mostrado eficácia significativa no aumento da sobrevida dos pacientes. A imunoterapia, em particular, com inibidores de checkpoint como pembrolizumabe e nivolumabe, tem revolucionado o tratamento de melanoma metastático (HOM *et al.*, 2019; ROBERT *et al.*, 2021).

### 2.3 A ESPECTROSCOPIA DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO

Para explorar as propriedades da espectroscopia, é necessário o conhecimento sobre a luz e seus espectros eletromagnéticos. A luz é uma onda eletromagnética formada por um campo elétrico e um campo magnético que se propagam perpendicularmente em diferentes meios. O espectro eletromagnético é composto, em ordem crescente de comprimento de onda, por raios gama, raios X, ultravioleta, luz visível, infravermelho, micro-ondas e ondas de rádio, conforme mostra a Figura 3 (KAWAHALA, 2023).

**Figura 3** – Espectro eletromagnético: Em destaque a região do visível ao infravermelho.



Fonte: (MARTINS, 2024) – Adaptado

A espectroscopia, mais especificamente da região do infravermelho, pode ser subdividida em três sub-regiões, sendo elas as regiões do infravermelho próximo (NIR, do inglês *Near Infrared*), do infravermelho médio (MIR, do inglês *Middle Infrared*), e distante (FAR, do inglês *Far Infrared*) (KILPATRICK-LIVERMAN *et al.*, 2006)

Com o avanço tecnológico e o advento de mecanismos de leitura do espectro eletromagnético, especialmente do infravermelho, surgiu a possibilidade de uso desse fenômeno para identificação de compostos, principalmente biológicos, através de métodos analíticos qualitativos e quantitativos, sendo processados por meio da quimiometria (FERREIRA, *et al.*, 2015).

Segundo Ferreira *et al.* (2015), a quimiometria envolve a aplicação de métodos matemáticos, estatísticos e computacionais para investigar, interpretar, classificar e fazer previsão de conjuntos de dados de interesse químico, sendo um deles o reconhecimento de padrões. No reconhecimento de padrões, podemos ter um vasta quantidade de dados (medidas químicas ou espectrais, por exemplo) onde são buscadas similaridades ou tendências nos dados.

A espectroscopia compara a composição da luz incidente na amostra com a luz transmitida e seu resultado é denominado espectro da amostra. O registro de um espectro é efetuado através de equipamentos designados por espectrômetro,

espectrofotômetro ou espectrógrafo (STUART *et al.*, 2000), sendo baseado em dois princípios: a luz e os sistemas moleculares.

A refletância da luz é um conceito fundamental na espectroscopia. Ela refere-se à proporção da luz incidente que é refletida pela superfície de um material. Esse fenômeno ocorre quando a luz interage com a superfície de um objeto, podendo ser refletida, transmitida ou absorvida, dependendo das propriedades ópticas do material. A refletância é expressa como uma fração ou percentual da intensidade da luz refletida em relação à intensidade da luz incidente, sendo utilizada para caracterizar a natureza da superfície e a composição dos materiais. Em estudos espectroscópicos, a análise da refletância permite a identificação e a quantificação de substâncias em sistemas moleculares de uma amostra (DAHM; DAHM, 2021)

Os sistemas moleculares que constituem a matéria apresentam estados de energia, que podem ser vistos como os degraus de uma escada: cada degrau é um nível de energia e é possível subir e descer de nível recebendo ou liberando energia, mas não é possível estar a meio caminho, entre degraus. Dependendo da natureza e composição da amostra, os degraus apresentam níveis de energia com separações diferentes. Conhecer a separação entre os níveis de energia permite compreender a estrutura e as propriedades de uma dada amostra (STUART *et al.*, 2000).

Uma das principais vantagens da espectroscopia NIR é a sua natureza não invasiva. Isso significa que ela pode ser usada para analisar a pele sem a necessidade de biópsias ou outros procedimentos intrusivos. Esta técnica se baseia na absorção de luz no espectro do infravermelho próximo, que abrange comprimentos de onda aproximadamente entre 780 nm e 2500 nm (RODRIGUES; GALZERANI; 2013).

Estudos prévios (ANDERSON *et al.*, 1981; BARANOSKI; KIM, 2005) foram capazes de detectar e quantificar componentes biológicos da pele, tais como água, lipídeos, proteínas e colágeno, analisando seu estado de hidratação. Em Roy *et al.* (2010), a técnica foi utilizada no monitoramento da perfusão em endoscópios para análise de mucosa no trago digestivo diagnosticando atipias celulares.

Outros trabalhos vêm sendo desenvolvidos explorando a espectroscopia no auxílio do diagnóstico de câncer de pele. Em DRAKAKI *et al.* (2013), os autores elencam uma variabilidade de dispositivos e seu uso na análise da pele para auxílio do diagnóstico de patologias, principalmente neoplasias. São descritas diversas

formas de se obter o sinal espectral a partir do fenômeno da refletância: espectroscopia de autofluorescência, espectroscopia Raman, espectroscopia no infravermelho próximo, microscopia confocal de refletância, dentre outras. Também são citados trabalhos de análise *in-vivo* (na pele do indivíduo) e *ex-vivo* (peças biopsiadas) utilizando estas técnicas.

No experimento de JACKSON e MANTSCH (2006), os autores trabalharam com análise *ex-vivo* em uma peça biopsiada, constatando a capacidade da técnica em identificar elementos químicos e correlacionado com área de hiperprodução de aminoácidos, menor quantidade de água e variabilidade na quantidade de lipídios. Os grupos funcionais mais identificados foram  $-CH$ ,  $-NH$ ,  $-OH$  e  $-SH$ . Estes podem facilitar a determinação de humidade, gorduras, proteínas e hidratos de carbono. Tais elementos formam um espectro já documentado quando aplicado à pele.

Em Bratchenko *et al.* (2021), os autores combinaram a espectroscopia de Raman e a espectroscopia no infravermelho próximo com fluorescência para diagnosticar tumores de pele malignos versus benignos, alcançando valores de acurácia maiores que a biópsia para os casos considerados.

No trabalho de Borisova *et al.* (2018), os autores aplicaram a espectroscopia nas faixas ultravioleta, visível e no infravermelho próximo para diferenciação de lesões cutâneas benignas, displásicas e malignas usando três diferentes equipamentos, em fatias de tecido *ex-vivo*. Utilizando análise qualitativa, foram obtidas diferenças significativas entre os tecidos analisados.

A revisão sistemática de Di Ruffano *et al.*, (2018) compila diversos estudos sobre câncer de pele e implementações comerciais baseadas nas diferenças na composição molecular entre tecidos saudáveis e cancerosos, auxiliando no diagnóstico precoce e no monitoramento da progressão da doença.

A extração de informações dos dados de um conjunto de espectroscopias normalmente envolve a análise de um considerável número de variáveis. Sendo que frequentemente apenas um pequeno número destas variáveis apresenta maior importância, resultando em um grande conjunto de dados que podem ser redundantes ou que não apresentem relevância para o objetivo do experimento. Por esse motivo, para a análise das espectroscopias, uma série de recursos estatísticos e, nos últimos anos, recursos de aprendizagem de máquina vêm sendo cada vez mais utilizados (LOSS *et al.*, 2024).

## 2.4 APRENDIZADO DE MÁQUINA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Devido à grande quantidade de dados gerados de sinais espectrais, e presença de ruídos, somente uma parte dos dados apresenta relevância, havendo a necessidade de utilizar meios estatísticos, processamento de dados e AM (LUO *et al.*, 2022).

A aprendizagem de máquina, ou do inglês *machine learning*, é um campo da inteligência artificial que se concentra no desenvolvimento de algoritmos e modelos que permitem aos computadores aprender e fazer previsões ou decisões baseadas em dados. Diferente da programação tradicional, onde regras explícitas são codificadas, a aprendizagem de máquina utiliza grandes volumes de dados para encontrar padrões e construir modelos preditivos (MURPHY, 2012).

Existem três paradigmas relacionados à AM que podem ser utilizados na geração de um preditor: supervisionado, não supervisionado e por reforço. A escolha de um paradigma de aprendizado determina a maneira como o algoritmo de AM se relaciona com seu meio ambiente, ou seja, o modo como ocorre o seu aprendizado a partir de um conjunto de dados (JAKKULA, 2006)

No paradigma de aprendizado supervisionado, tem-se a figura de um “professor externo”, o qual apresenta um conhecimento do ambiente representado por conjuntos de exemplos na forma entrada-saída. Neste caso, o algoritmo de AM é treinado a partir de conjuntos de exemplos rotulados com o objetivo de aprender uma função desejada.

No paradigma de aprendizado não supervisionado. Não há a presença do professor. O algoritmo de AM aprende a representar (ou agrupar) as entradas submetidas segundo uma medida de qualidade.

O último paradigma, por reforço, se dá por meio de recompensas ou não ao indutor, dependendo de seu desempenho em aproximar a função desejada (JORDAN; MITCHELL; 2015). Atualmente, existem vários métodos implementados para realizar a análise de sinais de espectroscopia, podendo ser citados entre os algoritmos supervisionados o *Linear Discriminant Analysis* (LDA), o *Nearest Neighbor* (KNN), o *Partial Least Square Discriminant Analysis* (PLS-DA), o *Soft-Independent Modeling of Class Analogy* (SIMCA) e o *Support Vector Machines* (SVM), assim como os algoritmos não supervisionados como, por exemplo, o

*Principal Component Analysis* (PCA) e o *Hierarchical Cluster Analysis* (HCA). Para este trabalho, foram utilizados os algoritmos PCA e SVM.

O pré-processamento dos dados é um processo inicial fundamental para a análise de sinais de espectroscopia, pois visa eliminar informações não relevantes e tornar os dados melhor condicionados para a análise. (RINNAN; VANDENBERG; ENGELSEN, 2009). Entre as técnicas de pré-processamento mais comuns está a Correção de Espalhamento Multiplicativo, que visa remover os efeitos de espalhamento de luz, normalizando os espectros ao dividir cada um deles pela média de todos os espectros. Outra técnica é a normalização, que corrige variações de espalhamento ajustando cada espectro pela sua média. Ambas as técnicas são fundamentais para minimizar as diferenças de intensidade e melhorar a consistência dos dados espectrais (RINNAN; VANDENBERG; ENGELSEN, 2009).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 DESENHO DO ESTUDO

Para o presente trabalho, primeiramente foi consultado o referencial teórico através de uma revisão bibliográfica com visão interdisciplinar entre as áreas da biologia e patologia dermatológica com conceitos da engenharia e física. Para tal fim, foram utilizados os portais *Scielo*, *IEEE*, *BVS*, *LILACS*, *Pubmed*, *Elsevier* além de plataformas secundárias como *Researchgate* e *Google Scholar*.

Os termos pesquisados respeitaram os manuais de descritores em saúde (DeCS) e MeSH. Tal organização se faz necessária para melhor ordenação das produções pesquisadas. Os termos foram pesquisados nos itens “Título”, “Palavras Chave” e “Resumo”.

Foi utilizado os termos “*skin*”, “*skin neoplasms*”, “*treatment*”, “*epidemiology*” e “*diagnosis*” e “*skin histology*”. Na segunda parte, foi utilizado os termos: “*Diagnostic Imaging*” “*Spectroscopy*”, “*Spectroscopy*”, “*Near-Infrared Spectroscopy*”. Foram realizados buscas no idioma português e inglês (principalmente sobre espectroscopia).

Foram realizadas várias interações booleanas entre os operadores. Buscou-se resgatar principalmente trabalhos correlatos, com desenho metodológico semelhante à proposta do presente trabalho, ou seja, trabalhos que analisaram *in-*

vivo pacientes com lesões de pele. As relações entre a capacidade da espectroscopia e modelos biológicos alvos foram elencados no capítulo de resultados.

A coleta de dados foi composta de três etapas distintas. Primeiramente, foi feita uma entrevista explorando aspectos quantitativos sobre hábitos de fotoexposição, fotoproteção, aspectos sociais e tempo de espera para atendimento. Na segunda, ocorreu a coleta do material (dermatoscopia e aquisição de sinais espectrais da pele e da lesão). Por fim, foi realizada a etapa experimental de processamento dos sinais com o uso de AM, além da criação do banco de dados de dermatoscopias e espectroscopias. A Figura 4 representa o desenho da coleta de dados.

**Figura 4 – Coleta de dados**



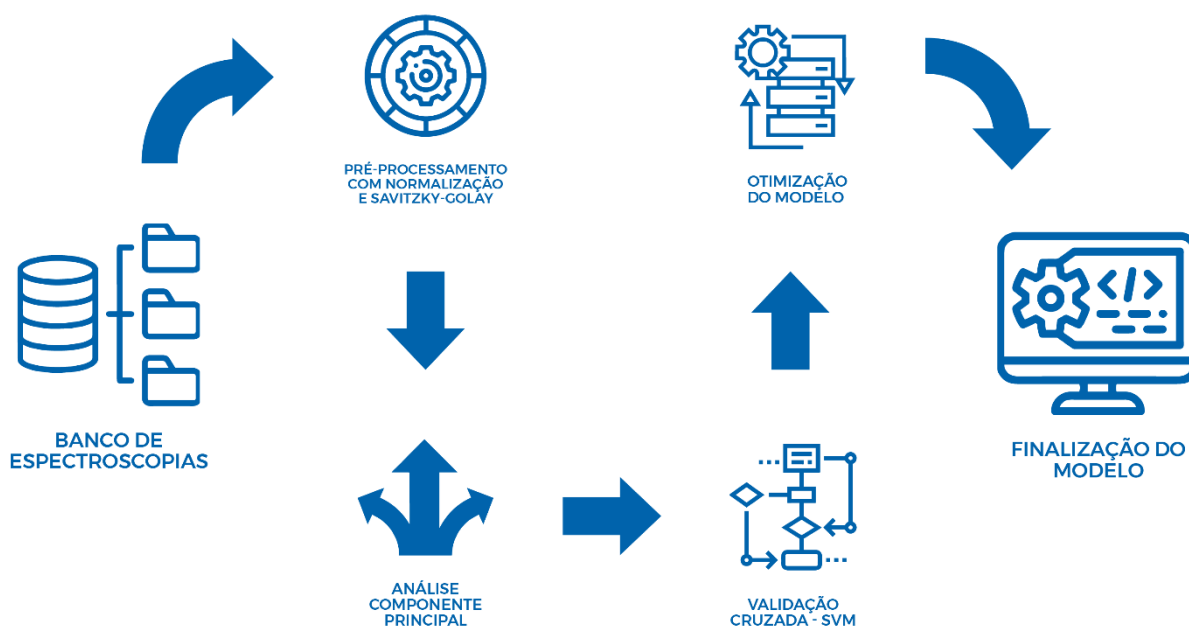
Fonte: O autor

Na análise dos dados de espectroscopia, buscou-se utilizar recursos de AM utilizando técnicas já empregadas em estudos semelhantes, como em LOSS et al., (2024), SILVEIRA et al., (2015) e como visto nos trabalhos elencados de Shakya et al.. (2021). Dentro dos conjuntos de técnicas, para este trabalho foram



implementados um pré-processamento com normalização e aplicação do filtro Savitzky-Golay, uma análise de componentes principais (PCA) associado ao algoritmo SVM em conjunto com validação cruzada. A Figura 5 exemplifica os passos do processamento das espectroscopias.

**Figura 5** – Processamento das Espectroscopias.



Fonte: O autor

## 3.2 DETALHAMENTO DA COLETA DE DADOS

A seguir, serão detalhadas as informações a respeito da coleta de dados e seus instrumentos.

### 3.2.1 Indivíduos

Os indivíduos do estudo compreenderam os moradores da região do Vale do São Francisco coberta pela VIII Geres de Saúde de Pernambuco acrescida da cidade de Juazeiro da Bahia que foram encaminhados para consultório especializado de dermatologia. A VIII Geres de Saúde compreende sete municípios, sendo eles Afrânio, Cabrobó, Dormentes, Lagoa Grande, Orocó, Petrolina e Santa Maria da Boa Vista.

O público alvo foi composto por indivíduos acima de 18 anos mentalmente capazes perante a lei que foram encaminhados para consultório especializado em dermatologia cujas lesões necessitaram de exérese, incluindo lesões malignas, pré-malignas e lesões suspeitas. Para fins de construção do banco de dados, foram coletados dados de lesões e alterações benignas. Só foram admitidos pacientes que aceitaram participar da pesquisa com a assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE).

Foram excluídos da pesquisa indivíduos cujas lesões pudessem gerar desconforto em sua coleta (região genital, por exemplo), indivíduos que desejassem sair do projeto de pesquisa em qualquer momento e pacientes oriundos de populações fora da região contemplada pelo público alvo, assim como pacientes que utilizaram alguma substância na lesão. Paciente com lesões benignas já coletadas também foram excluídos da coleta.

### **3.2.2 Locais de coleta**

As coletas dos sinais de espectroscopia, dermatoscopia e a entrevista foram realizadas em dois cenários distintos, em Petrolina e em Juazeiro. Em Petrolina, a coleta ocorreu no Ambulatório Especializado em Dermatologia da Unidade de Pronto Atendimento e de Atenção Especializada de Petrolina UPAE Dr. Emanuel Alírio Brandão, sendo localizada na Avenida Coronel Antônio Honorato Viana, S/N, Gercino Coelho – Petrolina/PE. O segundo local compreende um Ambulatório Especializado em Dermatologia no Centro Médico Empresarial Dr. Balbino Oliveira, no Bairro Santo Antônio, Sala 24 da Rua Paraíso número 97, no município de Juazeiro.

A UPAE Dr. Emanuel Alírio Brandão faz parte da VIII Geres de Saúde de Pernambuco. Nela, são atendidos os paciente encaminhados pela UBS que possuem alguma lesão suspeita de malignidade encaminhados pela avaliação de um médico generalista ou Médico de Família e Comunidade.

O consultório especializado em Juazeiro atende pessoas que procuram atendimento de maneira espontânea, ou seja, sem encaminhamento prévio. O consultório possui dois profissionais em atendimento não simultâneo.

A coleta foi realizado na sala de espera de ambos os serviços, com umidade, luminosidade e temperatura controlável. Em ambas as salas, há a presença de

aparelho de ar condicionado e luminosidade constante. Para avaliação de tais parâmetros, antes e após a finalização da consulta foi realizada a leitura da temperatura, luminosidade e umidade e documentadas no diário de coleta. Devido a coleta ter sido realizada na sala de espera, não houve comprometimento ou atrasos no atendimento dos pacientes. A coleta ocorreu nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2023.

### **3.2.3 Aspectos Éticos**

O projeto respeitou os procedimentos éticos de pesquisa em saúde. Além disso, os instrumentos utilizados na coleta dos dados não apresentaram risco de lesão ou consequências negativas. Os dados coletados serão utilizados anonimamente, preservando a identidade dos participantes. O projeto foi aprovado pelo comitê de ética sob o número CAAE 68264222.9.0000.0213

A participação nesta pesquisa não infringe as normas legais e éticas, assim, os riscos para os participantes da pesquisa foram minimizados. O exame com dermatoscópio é não invasivo e é de uso rotineiro em consultas dermatológicas. A coleta da espectroscopia também é um procedimento não invasivo. Reafirmamos que os procedimentos adotados nesta pesquisa obedeceram aos Critérios da Ética em Pesquisa com Seres Humanos conforme Resolução no. 466/12 do Conselho Nacional de Saúde. Nenhum dos procedimentos usados ofereceu riscos à dignidade dos indivíduos participantes.

### **3.2.4 Instrumentos de coleta**

Foi elaborado um formulário composto com informações básicas de identificação, idade e dados de relevância epidemiológica para incidência de lesões malignas de pele, principalmente sobre exposição solar, visto ser este o elemento mais influente na incidência de câncer de pele (Andrade; De bem; Teixeira, 2024). O formulário foi aplicado em forma de entrevista. As respostas foram analisadas usando estatística inferencial e quantitativa. Todos os dados foram tabulados e o levantamento estatístico descritivo foi feito utilizando o *software* Microsoft Excel 2013.

No formulário, foram solicitadas 13 informações: “Nome”, “Idade”, “Cidade onde mora”, “Telefone”, “Fototipo de pele”, “Profissão que mais exerceu na vida”, “Costumava usar protetor solar?”, “Atualmente, utiliza algum meio de proteção solar”, “Você usou protetor solar hoje?”, “Usou algum produto no local da lesão hoje?”, “Há quanto tempo você percebeu a lesão de pele?”, “Procurou o serviço de saúde pública?” e “Há quanto tempo você aguarda esta consulta?”. Foi utilizada linguagem acessível para abordagem.

A coleta da dermatoscopia foi realizado por meio do dermatoscópio de marca *DermLite DL100* acoplado a uma câmera de 12 megapixel de resolução para digitalização da imagem. Este equipamento possui registro na ANVISA através do código 80693070010.

O DermLite DL100 possui um design compacto e portátil facilitando o uso em diversas configurações clínicas, desde consultórios até visitas domiciliares. Além disso, a iluminação LED da DermLite DL100 proporciona uma iluminação uniforme, essencial para a visualização clara das lesões cutâneas. A tecnologia de polarização cruzada utilizada no dispositivo permite uma análise detalhada das lesões pigmentadas e não pigmentadas sem a necessidade de usar líquidos de imersão, tornando o exame mais rápido e prático (ALONSO-CAO *et al.*, 2020).

Para a coleta dos sinais de espectroscopia, foi utilizado o equipamento *DLP NIRscan Nano Evaluation Module*. O DLP NIRscan é um equipamento portátil capaz de captar sinais nos comprimentos de onda de 900 a 1700 nm. A coleta foi feita em contato próximo à pele, levando 30 segundos para ser finalizada. A Figura 6 representa o dispositivo e modo de coleta da espectroscopia.

**Figura 6** – Dispositivo DLP NIRscan Nano realizado a coleta da espectroscopia.



Fonte: O autor

Segundo Gelabert *et al.*, (2016), o DLP NIRscan Nano é um espectrômetro de infravermelho próximo (NIR) portátil que utiliza tecnologia DLP (*Digital Light Processing*) e conectividade *Bluetooth*. Este dispositivo foi projetado para ser móvel e de baixo custo. Não há na literatura consultada a utilização deste dispositivo para análise de lesões de pele.

O NIRscan Nano integra um microespelho digital para dispersar a luz e um detector de NIR, proporcionando alta precisão e resolução espectral em um formato compacto. Possui 2,5 mm de área de captação da amostra, resolução espectral de 10 nm. Ele utiliza um módulo de iluminação de refletância removível que inclui duas lâmpadas de filamento de tungstênio de banda larga de 1.5 W. Durante uma varredura, uma amostra é colocada contra a janela frontal de safira do módulo de iluminação. As duas lâmpadas de banda larga acendem e iluminam a amostra em um ângulo, de modo que os reflexos especulares não sejam coletados. A amostra absorve uma porcentagem específica de iluminação NIR em cada comprimento de onda e reflete difusamente a luz não absorvida no sistema.

Foi coletada uma quantidade suficiente de sinais de espectroscopia das lesões equivalente a, no máximo, 30 segundos após o posicionamento adequado (captação na parte central da lesão). A coleta do espectro da pele ocorreu em região de pele igualmente fotoexposta a pelo menos 3-5 cm de distância da lesão.

O DLP NIRscan Nano é um dispositivo revolucionário devido à sua praticidade e tamanho. Outro dispositivo utilizado em trabalhos semelhantes com o de MCINTOSH et al., (2001) é o Foss NIRSystems Model 6500. Ele possui dimensão 60 x 60 cm, uma altura de 50 cm e pesa 25 kg, além do tempo de coleta durar vários minutosU+002e

Para garantir o controle das variáveis, visto a possibilidade de ruídos e interferência luminosa, foi realizada a aferição da luminisonidade e da temperatura, através do dispositivo AKROM modelo KR922, e da umidade, usando o dispositivo EXBOM modelo FEPRO-MUT6005. Associado a isso, um diário de coleta foi utilizado durante todo o período. O diário de coleta é uma ferramenta essencial em pesquisas científicas, especialmente aquelas que envolvem a coleta de dados de campo. Ele serve como um registro detalhado das observações, procedimentos e contextos em que os dados foram coletados. O diário de coleta também desempenha um papel fundamental na transparência, credibilidade científica e confiança pública nos resultados da pesquisa. (ROESE *et al.*, 2006).

Para o processamento das espectroscopias, foi utilizada a plataforma *Python* por meio do sistema Google Colab. O Google Colab é uma plataforma online que permite a execução de código Python diretamente no navegador, oferecendo um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) altamente acessível e eficiente. Uma das principais vantagens do Colab é que ele fornece recursos de computação gratuitos, incluindo GPUs e TPUs, o que facilita a execução de tarefas computacionalmente intensivas, como treinamento de modelos de aprendizado de máquina. Outro benefício significativo do Google Colab é que ele vem pré-configurado com uma vasta gama de bibliotecas populares de Python, como TensorFlow, Keras, PyTorch, Pandas e NumPy, entre outras. Isso elimina a necessidade de instalação manual e configuração de ambientes, permitindo que os usuários comecem a programar e experimentar imediatamente (Bisong, 2019).

### **3.2.5 Processamento das espectroscopias**

Para o processamento das espectroscopias, foram utilizadas três técnicas de pré-processamento. As técnicas foram utilizadas com base em trabalhos semelhantes (ZHANG *et al.*, 2018; LOSS *et al.*, 2024; COELHO *et al.*, 2024).

A primeira técnica aplicada foi a normalização dos dados. A normalização é uma técnica usada para redimensionar amostras individuais de modo que fiquem em uma escala unitária. Esse método é particularmente útil para quantificar a similaridade entre amostras, uma vez que dados reais frequentemente possuem atributos contínuos com variações distintas devido às diferentes naturezas ou escalas de medição. Assim, a normalização padroniza os dados, garantindo que nenhum atributo tenha influência desproporcional sobre os outros. A normalização por reescala estabelece um novo intervalo para os valores dos atributos, definido por um valor mínimo e um valor máximo (CARVALHO *et al.*, 2011).

Após a normalização dos dados, foi empregado o filtro de Savitzky-Golay. O filtro de Savitzky-Golay foi criado em 1964 como um algoritmo de filtragem e suavização de dados, para a construção de um sistema de tratamento de ruídos e análise de componentes químicos em espectros, podendo ser pensado como uma generalização de um filtro de média móvel. Os coeficientes desse filtro são provenientes da realização de um ajuste linear não-ponderado de mínimos quadrados, utilizando um polinômio de determinada ordem no ponto central da janela. (ZIMMERMANN; KOHLER, 2013).

Com a etapa de pré-processamento concluída, foi aplicada a técnica PCA. A PCA é um dos métodos mais importantes utilizados na quimiometria e é a base para diversos métodos de reconhecimento de padrões, classificação e calibração multivariada (NOVOTNY *et al.*, 2013). É um método que permite a redução da dimensionalidade através da representação do conjunto de dados em um novo sistema de eixos, denominados componentes principais. A PCA é utilizada com o objetivo de visualizar a estrutura dos dados, encontrar similaridades entre amostras, detectar amostras anômalas (*outliers*) e reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados (LUO *et al.*, 2022). Durante a aplicação, foram modificados os seus hiperparâmetros em busca dos melhores resultados possíveis.

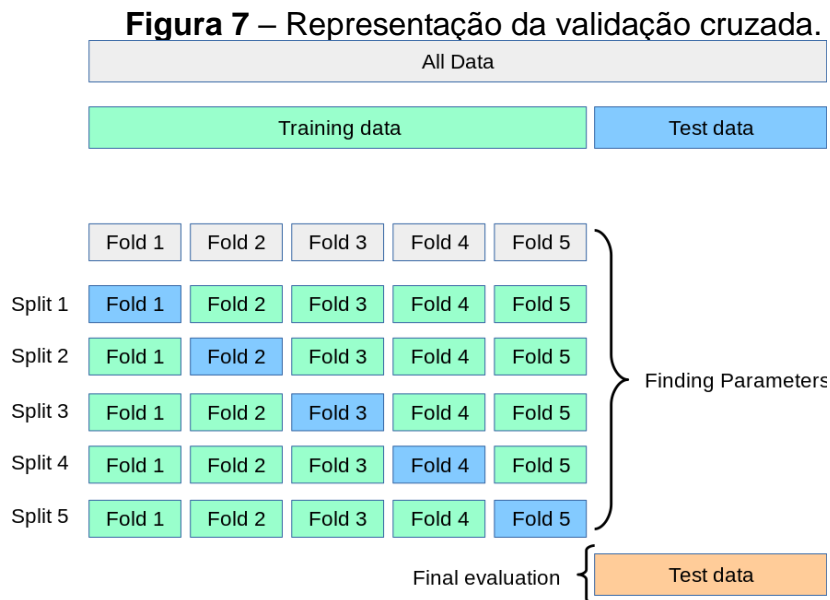
### **3.2.6 Classificação dos sinais**

Após a etapa de pré-processamento dos sinais de espectroscopia, foi utilizado o algoritmo SVM para classificação das lesões de pele. Segunda Lorena e Carvalho (2007), o algoritmo SVM constitui uma técnica embasada na teoria de aprendizado estatístico que vem recebendo grande atenção nos últimos anos. Os

resultados da aplicação desta técnica são comparáveis aos obtidos por outros algoritmos de aprendizado, como as Redes Neurais Artificiais (RNAs) e em algumas tarefas tem se mostrado superior, tal como na detecção de faces em imagens.

Os classificadores SVM gerados em geral alcançam bons resultados de generalização e são robustos diante de objetos de grandes dimensões. A aplicação do algoritmo SVM implica na otimização de uma função quadrática, que possui apenas um mínimo global possuindo uma base teórica bem estabelecida dentro da Matemática e da Estatística (PONTIL; VERRY, 1998).

No contexto de AM, uma técnica bastante empregada, especialmente quando há poucas amostras envolvidas na análise, é a validação cruzada. Segundo este método, o conjunto de dados é dividido em partições (*folds*) de tamanho aproximadamente igual. Um subconjunto destas partições é utilizado no treinamento do classificador, enquanto o restante é utilizado em seu teste. Tem-se então um total de pares de conjuntos para treinamento e teste. A representação gráfica está demonstrada na Figura 7. Nela, observamos em azul o grupo de teste e em verde o grupo de treinamento, divididos em cinco subgrupos (*5-fold cross validation*).



Fonte: *Scikit-learn developers* (2024).

A combinação dos algoritmos SVM e de validação cruzada é poderosa porque permite a avaliação robusta do desempenho do modelo, minimizando o risco de *overfitting*, definido como a situação em que o algoritmo de classificação se



especializa em demasia nos dados avaliados. Ao validar o modelo em diferentes subconjuntos dos dados, a técnica assegura que o desempenho não é específico a um único conjunto de dados, promovendo a generalização e sendo crucial onde a precisão e a robustez do modelo são essenciais para a tomada de decisões (HASTIE; TIBSHIRANI; FRIEDMAN, 2009).

Para fins de comparação, os resultados foram dispostos através da matriz de confusão. A matriz de confusão é uma ferramenta para a análise de desempenho dos classificadores (MONARD; BARANAUSKAS, 2003). Na Tabela 1, é apresentada uma matriz de confusão de dimensão  $2 \times 2$ , onde a diagonal principal da matriz indica as predições corretas do classificador, sendo VP os verdadeiros positivos e VN os verdadeiros negativos. A diagonal secundária mostra as predições incorretas do classificador, em que FP são os falsos positivos e FN os falsos negativos

**Tabela 1** – Matriz de confusão.

		Valor Previsto	
		Positivo	Negativo
Valor Verdadeiro	Positivo	VP	FP
	Negativo	FN	VN

Fonte: O autor

A acurácia (ACU), sensibilidade (SEN), especificidade (ESP) e precisão (PRE) são métricas obtidas a partir da matriz de confusão onde:

**Acurácia (ACU):** Avalia a precisão geral do modelo. É uma métrica que informa a percentagem dos dados que foram classificados corretamente pelo modelo. Por levar em consideração tanto a classe positiva quanto a negativa, a acurácia é a principal medida de avaliação de classificadores e é dada pela expressão:

$$ACU = \frac{VP + VN}{VP + FP + FN + VP}$$

**Sensibilidade (SEN):** Mede a capacidade do modelo de detectar corretamente exemplos positivos. É dado pela expressão:

$$SEN = \frac{VP}{VP + FN}$$

**Especificidade (ESP):** Mede a capacidade do modelo de evitar falsos alarmes em exemplos negativos. É dado pela expressão:

$$ESP = \frac{VN}{FP + VN}$$

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS

Ao total, foram entrevistados 73 pacientes (16 entrevistas no serviço particular e 57 no serviço público) dentro do período de 3 meses. Os pacientes foram entrevistados na sala de espera das clínicas parceiras. Os pacientes que se encontravam neste cenário já haviam sido avaliados previamente pelo especialista sendo essa a segunda consulta/procedimento.

#### 4.1.1. Idade e Gênero

Dos pacientes entrevistados, 22 (30%) foram do sexo masculino e 51 (70%) do sexo feminino. Esta disparidade já foi demonstrada no trabalho de Dias *et al.*, (2021), tendo sido constatada a maior prevalência dos atendimentos e uma maior procura nos serviços de saúde da população do sexo feminino.

Seguindo Palmeira *et al.*, (2022), esse é um fenômeno complexo de ordem social, comportamental, cultural e pessoal. A falta de busca por serviços de saúde por parte dos homens não colabora com as ações prevenção de doenças e contribui para a má qualidade da saúde masculina, refletindo na menor expectativa de vida.

Uma das razões apontadas pela maior frequência do público feminino nos serviços de saúde é a maior preocupação das mulheres com a saúde preventiva, sua inclusão em serviços específicos, como o pré-natal e exames de rotina incentivando visitas regulares ao médico (COBO; CRUZ, DICK; 2021).

Além disso, o gênero feminino está mais envolvido em ações de autocuidado, o que reforça a frequência de consultas médicas. As mulheres também são socialmente incentivadas a cuidar da saúde de seus familiares, o que aumenta sua

familiaridade com o sistema de saúde e, conseqüentemente, as torna mais propensas a utilizá-lo para si mesmas (COSTA-JÚNIO; COUTO; MAIA, 2016).

A partir da permanência deste cenário, ações voltada à saúde masculina são de extrema necessidade. Nesse sentido, ações específicas como a Política Nacional de Atenção Integral da Saúde do Homem (PNAISH) são positivas. A PNAISH tem como princípio promover ações de saúde que contribuam significativamente para a compreensão da realidade masculina nos seus diversos contextos socioculturais e político-econômicos.

Associada aos programas específicos, há a necessidade de otimizar o acesso do paciente, diminuindo o tempo de espera entre encaminhamento e consulta com especialista, que além de melhorar o acesso do público masculino, melhora o atendimento do público em geral (PEREIRA; MEYER, 2019).

Sobre a distribuição das idade, temos a Tabela 2, onde pode ser observado que a idade mínima foi de 22 anos e a máxima de 93 anos, uma moda trimodal 62, 63 e 44 anos com 4 indivíduos. Metade dos indivíduos possui até 70 anos e 40% estão concentrados entre as faixas de 50 a 80 anos. Essa distribuição demonstra similaridade com o trabalho de Andrade *et al.* (2022), onde a maior concentração encontrada foi de 50 a 70 anos, com cerca de 45% dos indivíduos estando nesta faixa. Em Alcantra *et al.* (2020), a média de idade foi de 66 anos. Esse mesmo padrão também foi observado em trabalhos mais antigos, como Silva *et al.* (2012), onde 54,9% dos indivíduos tinham idades acima de 60 anos. Esse cenário demonstra que o câncer de pele está mais correlacionado a idades mais avançadas, principalmente a partir da quinta década de vida.

**Tabela 2** - Distribuição das idades da população entrevistada

IDADES	PACIENTES N (%)
<40	9 (12%)
41-50	12 (16%)
51-60	15 (21%)
61-70	16 (22%)
71-80	14 (19%)
81-90	5 (7%)
>90	2 (3%)

Fonte: O Autor

#### 4.1.2. Classificação Fenotípica

A classificação de Fitzpatrick tem sido usada para tipagem da cor da pele de acordo com o potencial de bronzeamento desde a sua criação, entre os anos 1975 e 1976. Ela é um dos fatores de risco importantes para o desenvolvimento do câncer de pele. As populações dos fototipos I a III, especialmente I e II, possuem risco aumentado no desenvolvimento de câncer de pele, principalmente os não melanomas. A elevação das taxas desta neoplasia está associada à intensa exposição à radiação ultravioleta, por meio da execução de atividades ao ar livre (trabalho e/ou recreacionais) (Goon et al., 2021).

Nos dados coletados neste trabalho, com relação à classificação de pele, observamos na Tabela 3 que 38% se encontram na classificação III, com concentração de 64% dos indivíduos entre as classificações I e III.

**Tabela 3** – Distribuição de Fitzpatrick da população entrevistada

<b>FITZPATRICK</b>	
<b>K</b>	<b>INDIVÍDUOS (%)</b>
I	0
II	19 (26%)
III	28 (38%)
IV	21 (28%)
V	5(6%)
VI	0

Fonte – O Autor

Em trabalhos amostrais onde houve levantamento da classificação de Fitzpatrick, a distribuição mais predominante também foi a do fototipo III, com 63 indivíduos (37,5%) da amostra estudada (Andrade *et al.*, 2022) que abrangeu a mesma região.

Segundo Imanichi *et al.*, (2017), as regiões Norte e Nordeste recebem a maior quantidade de radiação UV no Brasil. A região Nordeste é descrita como tendo a maior prevalência do câncer tipo não-melanoma, apesar dos autores afirmarem que a região é habitada por pessoas com fototipos mais preparados para esse quadro, em sua maioria com classificação IV, V, VI (amarelos, indígenas, pardos e pretos). Na amostra, houve uma divergência desse fato, podendo estar relacionado à

imigração holandesa (SILVA; GARCIA, 2004). Esta divergência de informações revela a importância de trabalhos regionais para constatar e investigar as peculiaridades de cada região.

#### **4.1.3. Profissão**

Com relação aos dados sobre as profissões, foi observado que 37 indivíduos (51%) trabalham ou trabalhavam na agricultura e somente 4 indivíduos possuíam formação em nível superior. Aqui observamos outro fator de risco para desenvolvimento de câncer de pele: o trabalho em atividade fotoexposta (GOON *et al.*, 2021). A região do Vale do São Francisco possui população residente em área urbana e rural, sendo que a economia é predominante em atividades de agricultura, atividades essas que levam à maior exposição solar. Não se observou mudança da prevalência da profissão em comparação entre os pacientes do serviço público e particular. Neste último, observou-se que 8 indivíduos (50%) são ou foram trabalhadores da agricultura.

#### **4.1.4. Fotoproteção**

Quanto aos fatores de fotoproteção, 30 indivíduos (41%) assinalaram que não utilizam nenhuma proteção solar e 32 (43%) utilizam proteção física, sendo os mais citados chapéu e camisa de manga comprida e calça. A proteção química foi a proteção menos utilizada, com 26 indivíduos (35%) relatando seu uso. Um total de 16 indivíduos (21%) afirmaram empregar o uso frequente das duas proteções. Segundo levantamento de Garani *et al.*, (2022) sobre os meios de fotoproteção, 48 (57,6%) utilizaram, enquanto 72 (42,4%) não utilizam na amostra estudada.

A população estudada no presente trabalho segue em linha com trabalhos já publicados. Quase 40% dos trabalhadores da agricultura e pecuária relataram o não uso de fotoproteção no Rio Grande do Sul (GUTJAHR *et al.*, 2010). Utilizando a revisão sistemática de Imanichi *et al.*, (2017) como base, observou-se a junções de fatores de risco na população entrevistada do presente trabalho no Vale o São Francisco, sendo eles trabalhadores com foto exposição, ausência de proteção, idade e fototipo. Com esse cenário, mostra-se a necessidade urgente da ampliação da rede atendimento junto a programas de conscientização sobre a importância do uso de fotoproteção.

#### 4.1.5. Características das lesões

Segundo Alcantara *et al.*, (2020), a análise da topografia de lesões de pele é importante pois revela locais que mais merecem atenção na ectoscopia. Na Tabela 4, está disposta a distribuição topográfica das lesões coletadas nos pacientes entrevistados nos dois serviços.

**Tabela 4** – localização das lesões da amostra estudada.

Localização das lesões		Quantidade (%)	
<b>Face</b>	Couro cabeludo	2	2%
	Nariz	8	9%
	Fronte	11	12%
	Malar	12	13%
	Auricular	4	4%
	Labial	4	4%
	<b>Total</b>		<b>44%</b>
<b>Pescoço</b>		8	9%
<b>Tronco</b>	Superior	6	7%
	Médio	5	5%
	Inferior	5	5%
	<b>Total</b>		<b>17%</b>
Membro Superior Direito		11	12%
Membro Superior Esquerdo		3	3%
Membro Inferior Direito		3	3%
Membro Inferior Esquerdo		4	4%
<b>Total</b>			<b>22%</b>
<b>Disseminadas</b>		5	5%
<b>Total</b>		<b>91</b>	<b>100%</b>

Os trabalhos de GUTJAHR *et al.*, (2010), ALCANTRA *et al.*, (2020), ANDRADE *et al.*, (2022); SIMONETI *et al.*, (2016) mostram que, entre as áreas foto-exposta, a região do rosto é o local onde se concentram mais de 50% das lesões. Na presente amostra, cerca de 44% das lesões apresentaram ocorrência na região da

face, com destaque às regiões malar e fronte. Curiosamente, o lado direito apresentou o dobro de lesões do lado esquerdo, sendo 10 lesões à esquerda e 20 lesões à direita.

De acordo com Kumar *et al.*, (2002) as lesões em região facial possuem um risco aumentado de metástases, comprometimento de bordas e agressividade do tumor e, portanto, maior chance de falha do tratamento cirúrgico. Isso se deve, entre outras causas, à tendência de se realizar margens de ressecção mais conservadoras em áreas nobres do corpo, pois a face apresenta uma função estética e social enorme para o indivíduo. Lesões em face também possuem um apelo estético maior devido dificuldade de cobertura.

Além da topografia das lesões, foi realizado o levantamento diagnóstico das lesões. O diagnóstico de pele quando feito pelo especialista treinado, possui uma grande variabilidade quando realizado por meio da dermatoscopia, podendo chegar a índices de assertividade semelhantes aos das biópsias.

Na revisão sistemática de Dinnes *et al.*, (2018), cujos resultados são mostrados na Tabela 5, encontra-se o diagnóstico de lesões de pele encontradas nas amostras analisadas. Nela, podemos constatar uma grande prevalência do CPNM compreendendo quase a totalidade da amostra com o CBC com seu principal expoente. Esse levantamento estatístico segue em linha com a literatura internacional. Como já citado anteriormente, o CBC é o câncer de pele mais prevalente no mundo e no Brasil. Ele está relacionado com a alta exposição da população à radiação UV do sol, assim, trabalham ao ar livre (que foi o caso da presente amostra) são mais suscetíveis (Souza; Locatelli; Centa, 2023)

Foi observada também uma presença considerável de lesões benignas mas com proposta de excisão devido a questões estéticas, como os nevos e a ceratose seborreica, totalizando 30 lesões (32%). Essas alterações cutâneas representam um problema dermatológico comum que pode afetar a autoestima tendo um impacto estético significativo, pois a aparência da pele é um fator determinante na percepção da beleza e saúde (COSTA PEREIRA *et al.*, 2019).

Para o presente trabalho, as lesões consideradas para a formação do banco de dados de sinais de espectroscopia foram classificadas em câncer de pele, lesões pré-malignas, lesões diversas, lesões autoimunes e outras. Ao total, foram coletadas 91 amostras de dermatoscopia com espectroscopia e diagnóstico realizado por médico especialista de 73 pacientes. Um total de 18 pacientes apresentou mais de

uma lesão documentada, o que explica a diferença entre quantidade de amostras e de pacientes.

O diagnóstico feito pelo especialista munido de história clínica e dermatoscopia possui grande acurácia, segundo trabalho de ZAMBUZZI; VIDAL; PESSANHA, (2017). De uma coleta de 70 lesões suspeitas de câncer da pele não melanoma em um grupo de 50 pacientes, a hipótese diagnóstica com o resultado histológico mostrou índice de acerto de 79,6% para os casos suspeitos de carcinoma basocelular e de 23,8% para os de carcinoma espinocelular pela avaliação do especialista. Em trabalhos internacionais, como em Andreson *et al.*, (2018), podem até se aproximar do padrão ouro, que seria a histopatologia, com até 95% de precisão para carcinoma basocelular.

**Tabela 5 - Diagnóstico de lesões e espectroscopias coletadas.**

<b>CÂNCER DE PELE</b>	
CARCINOMA BASOCELULAR	28
CARCINOMA ESPINOCELULAR	1
MELANOMA UNGEAL	1
ÚLCERA DE MAJOLIM	1
<b>LESÕES PRÉ-MALIGNAS</b>	
CERATOSE ACTINICA	11
NEVOS DISPLÁSICOS	4
<b>LESÕES DIVERSAS</b>	
CERATOSE SEBOREICA	13
NEVOS HIPERCROMICO	11
NEVOS SIMPLES	6
VERRUGA HIPERCROMICA	3
CICATRIZ QUELOIDAL	1
LESÃO CICATRICIAL	2
VERRUGA	1
MELANOSE SOLAR	1
HEMANGIOMA	1
<b>LESÕES AUTOIMUNES</b>	
LUPUS DISCOIDE	2
LUPUS ERITRODERMICO	1
<b>OUTROS</b>	
DERMATOFITOSE	1
TATUAGEM	1



<b>TOTAL</b>	<b>91</b>
--------------	-----------

Um banco de dados foi criado a partir das amostras, contendo imagens de dermatoscopia e sinais de espectroscopia, em ambos os casos tanto de lesões quanto de pele saudável. O banco poderá ser disponibilizado para consulta, pesquisa e ensino, estando vinculado a princípio na Biblioteca da Universidade Federal do Vale do São Francisco. Sobre as lesões, foi obtido um banco de imagens de dermatologia para uso acadêmico que poderá ser disponibilizado para consulta bem como para pesquisas futuras, como pode ser visto na amostra das lesões na Figura 8 da esquerda para direita temos carcinoma basocelular ulcerado, úlcera de marjolin, carcinoma basocelular com hipervascularização a dermatoscopia, nevo atípico, ceratose seborreica e carcinoma espinocelular.

**Figura 8** – Amostras leões de pele coletadas por dermatoscópio.



Fonte: O autor

Uma importante informação relativa aos cuidados com saúde é o tempo de espera dos pacientes até ser atendido por um especialista. Neste sentido, para este trabalho, observou-se que, no serviço particular, que o tempo de espera para consulta foi de até 7 dias (somente 4 pacientes aguardaram mais que 7 dias), havendo a possibilidade da biopsia ser realizada no momento do primeira consulta, ou marcada para a semana seguinte, conforme a disponibilidade do paciente. O

menor tempo de espera foi de 2 dias na rede particular, o maior tempo de espera foi de 15 dias.

Em comparação com atendimento especializado norte americano, segundo BARSZCZ *et al.*, (2023), nos Estados Unidos, o tempo de espera a partir de um encaminhamento para um dermatologista dura de 19 a 33 dias.

Houve uma enorme disparidade entre o tempo de espera em comparação com a rede pública, onde seu menor tempo foi de 4 meses. Já o maior tempo de espera se deu na rede pública, sendo de 2 anos. O tempo foi contado desde a entrega do encaminhamento até a consulta. Houve também a constatação de um grande número de re-consultas, onde 29 (50%) dos atendimentos da rede pública eram reconsultas.

O dado encontrado está em acordo com a literatura especializada, expondo um cenário ainda preocupante, a falta de entendimentos especializados. Em Freitas e Santos (2024), o tempo de espera para atendimento especializado em uma cidade no Rio de Janeiro foi também de 2 anos.

Segundo Vilela *et al.*, (2021), a pandemia de COVID-19 trouxe inúmeros desafios para a área da saúde, impactando diretamente o diagnóstico e o tratamento de várias doenças, incluindo o câncer de pele. Houve uma redução drástica das consultas médicas, muitos pacientes adiaram ou cancelaram consultas devido ao medo de contaminação pelo vírus, além das restrições impostas pelos sistemas de saúde sobrecarregados. Ainda houve priorização de recursos para o combate à COVID-19 com queda na realização de cirurgias dermatológicas durante o período (QUEIROZ *et al.*, 2021)

O atraso no diagnóstico levou a um aumento no número de casos diagnosticados em estágios mais avançados da doença. A queda do número de diagnósticos precoce ainda terá consequências graves a longo prazo para pacientes com câncer de pele. É essencial que os sistemas de saúde desenvolvam estratégias para minimizar esses impactos, garantindo que pacientes com condições graves recebam o cuidado necessário (BÜHRNHEIM *et al.* 2023).

A tele dermatologia, através do uso de tecnologias de comunicação e informação, pode reduzir significativamente as filas de espera ao facilitar o acesso rápido e eficiente a consultas dermatológicas, sendo uma alternativa para melhorar o fluxo de atendimento. A tele dermatologia permite que médicos generalistas e pacientes enviem imagens e descrições de lesões cutâneas para especialistas,

facilitando um diagnóstico mais rápido e preciso, o que é crucial para condições que requerem intervenção precoce, como o melanoma e outras neoplasias cutâneas (COSTA *et al.*, 2022).

No Brasil, ainda existe uma oferta insuficiente de serviços dermatológicos associados à concentração dos serviços especializados. Segundo Pantoja (2024), a cobertura da atenção básica de saúde e o atendimento especializado ainda são limitados no Brasil, tanto pela localização quanto pelas políticas públicas de saúde e condições sócio-econômicas da população e dos municípios. As vagas para consulta com especialista são restritas muitas vezes por município e por quantidade, e nem todos conseguem atendimento a tempo de receber o tratamento adequado para o câncer de pele mediante uma lesão suspeita.

O diagnóstico precoce de câncer de pele é diretamente proporcional ao sucesso do tratamento. O atendimento precoce significaria uma diminuição na mortalidade e consequente aumento na sobrevida dos pacientes. Apesar de no Brasil existir a denominada “lei dos 60 dias”, que dá ao paciente o direito de iniciar o tratamento oncológico em até 60 dias (FRANÇA *et al.*, 2021), este direito ainda não é devidamente executado.

A alta quantidade de encaminhamentos a serviços de dermatologia impactam no diagnóstico do câncer de pele. Segundo Martines *et. al.* (2011), existe uma alta prevalência de transtornos comuns de pele no conjunto de casos encaminhados da unidade básica para os dermatologistas, acarretando gastos desnecessários, sendo importante controlar os encaminhamentos da atenção primária de forma mais rigorosa, esse fenômeno também está presente nas re-consultas. Por outro lado temos como benéfico o seguimento e acompanhamento de paciente que já tiveram câncer de pele, pois o seguimento leva a um diagnóstico precoce (GONELLA; PEDROSO; SILVA, 2019).

Também foi observado na amostra do presente trabalho um grande número de reconsultas. Um total de 30 pacientes (50%) atendidos na rede pública referiam-se a re-consultas, ou seja, consultas de acompanhamento. Todos os pacientes que procuraram o serviço particular citaram uma demora no encaminhamento para especialidade, sendo esse um dos fenômenos mais observados.

Hoje estuda-se o fenômeno do hiperfrequentador ou hiperutilizador. Apesar de não haver consenso entre os autores, esse fenômeno é caracterizado pelo número de vezes que o usuário buscou o serviço em certo período de tempo de

maneira geral (Gomes *et al*; 2013; Oliveira; 2008). Os autores formaram um consenso de que esse fenômeno contribui para desperdício dos recursos econômicos e diminuição da qualidade dos serviços.

A espectroscopia de pele, por ser uma técnica não invasiva e poder ser associada a dispositivos portáteis, como é o caso do DLP Nirxscan, pode ser uma grande revolução no atendimento dermatológico. Com ela, é possível antecipar a realização da biópsia, permitindo a intervenção precoce, pois ela tem a capacidade de reduzir significativamente as filas de espera, facilitando a triagem inicial. Ela também pode reduzir a necessidade de biópsias desnecessárias, preservando os recursos dos serviços de saúde que podem ser melhor alocados.

Dentro desse contexto, pacientes com lesões benignas podem ser tranquilizados rapidamente, enquanto aqueles com lesões suspeitas são priorizados para consultas e procedimentos subsequentes. Esta eficiência na gestão dos pacientes diminui a sobrecarga nos sistemas de saúde e reduz o tempo de espera para todos os pacientes. Em conclusão, a espectroscopia de pele é uma tecnologia que pode oferecer múltiplos benefícios no contexto do diagnóstico precoce do câncer de pele, melhorando assim a qualidade do atendimento dermatológico.

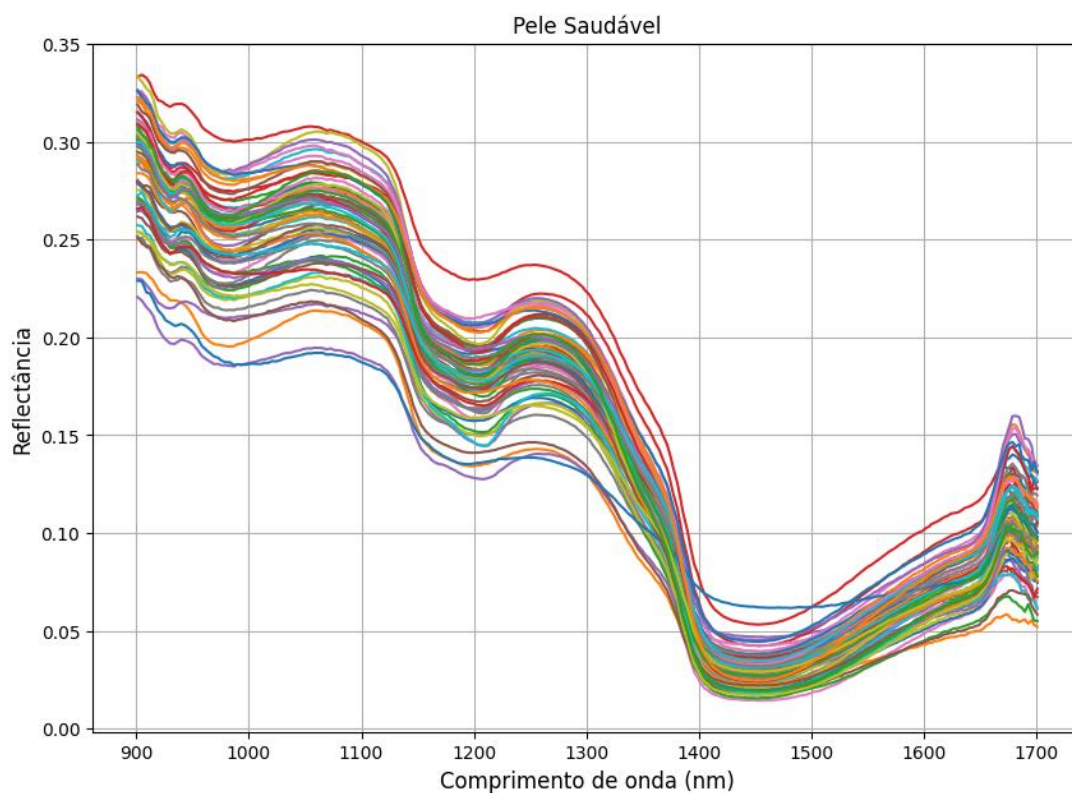
## 4.2 ANÁLISE DOS SINAIS DE ESPECTROSCOPIA

Para análise das lesões por meio de sinais de espectroscopia, foi realizada a coleta de 73 sinais de pele saudável e 91 de lesão de pele. Quanto ao tamanho, houve 55 lesões acima de 8 mm em seu maior diâmetro (dimensão máxima de captação do dispositivo). A fim de formar um banco de sinais de espectroscopia, foi coletada uma gama diversificada de lesões classificadas como câncer de pele, ceratoses (actínicas e seborreicas), nevos (hipercrômico, simples e displásico), lesões pré-malignas, cicatriz, cicatriz queloidal, entre outras. A Tabela 5 citada anteriormente exemplifica por completo as lesões.

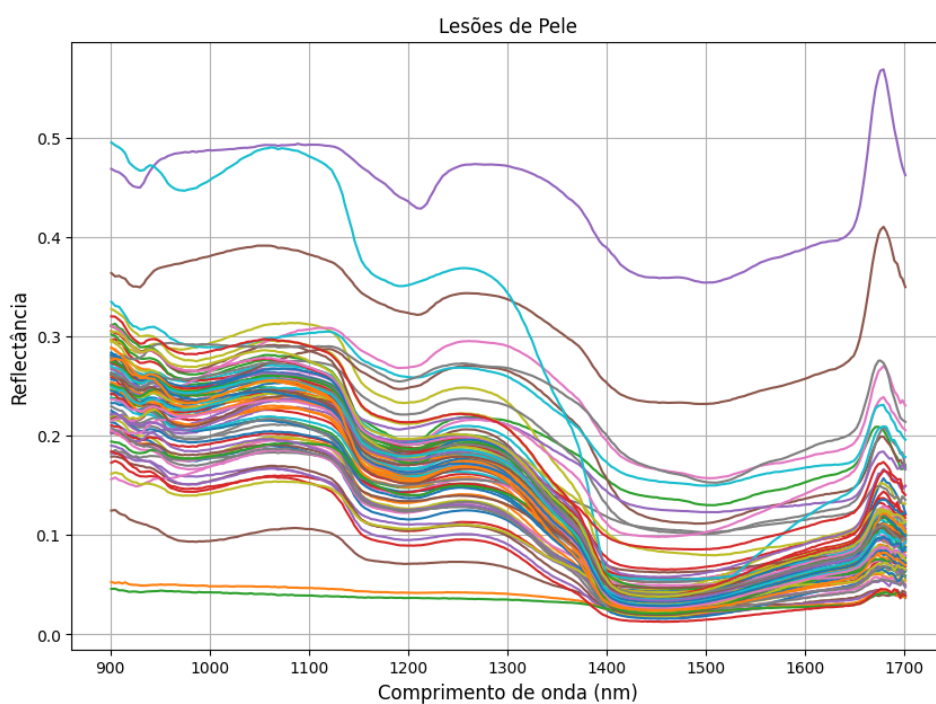
Cada sinal de espectroscopia corresponde a um arquivo com relação entre o valor de refletância do sinal luminoso e o comprimento de onda correspondente. Na Figura 9, observamos a representação gráfica do conjunto dos 73 sinais de espectroscopia de pele saudável. Pode-se observar pouco nível de ruído e uma uniformidade no comportamento das curvas. Na Figura 10, observamos os dados espectrais de 93 lesões diversas, que apresentam um nível de ruído mais elevado.

Pode-se notar, a princípio, de forma visual, que há uma diferença nos gráficos dos sinais de pele saudável e de lesões, como por exemplo formações de menores vales e uma distribuição mais dispersas.

**Figura 9** - Conjunto de 73 espectroscopias da pele saudável.



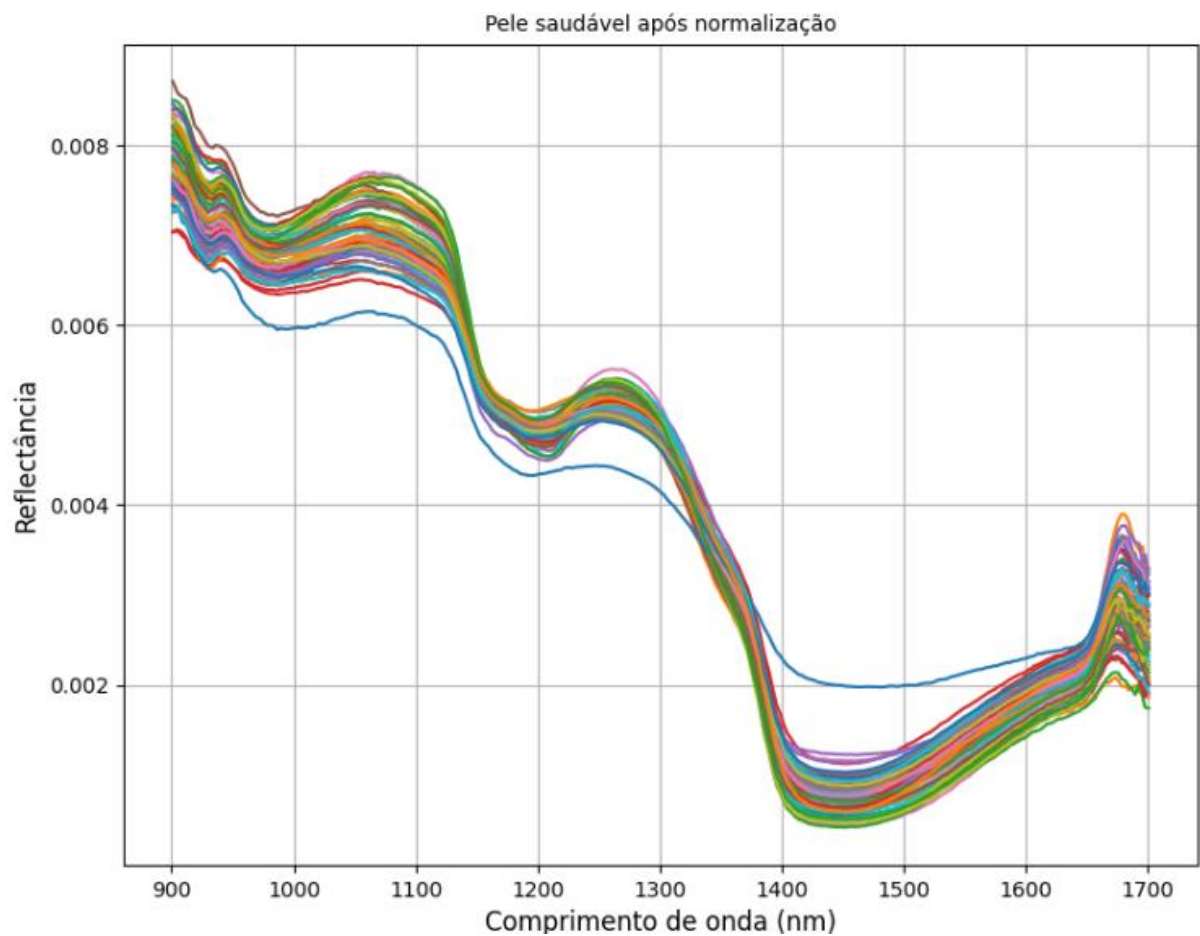
**Figura 10** – Curva espectral de 93 lesões de pele diversas.



Fonte: O autor

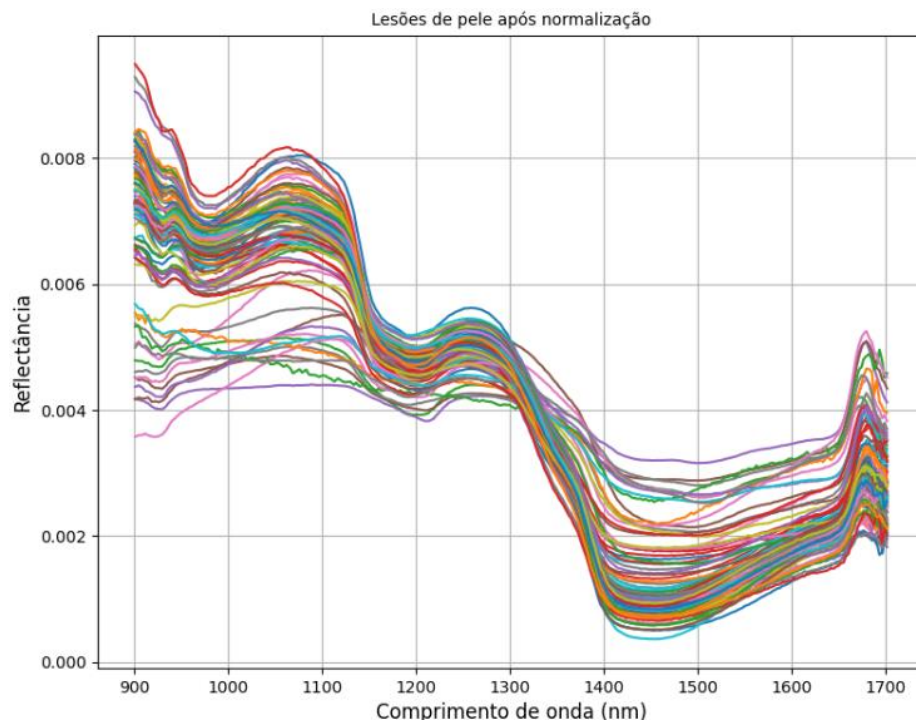
A primeira técnica de pré-processamento realizada foi a normalização dos dados. As Figuras 11 e 12 representam, respectivamente, os dados dos sinais de pele saudável e lesões após a normalização.

**Figura 11** - Conjunto de 73 espectroscopias da pele saudável normalizados.



Fonte: O autor

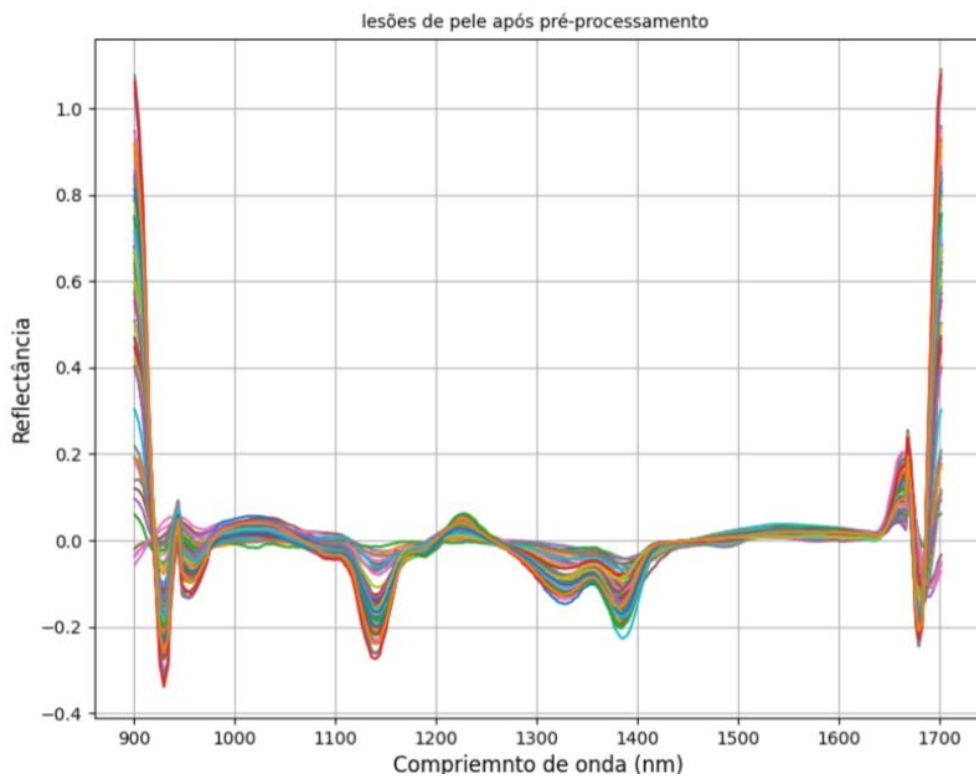
**Figura 12** – Curva espectral de 91 lesões de pele diversas normalizados.



Fonte : O autor

A seguir, após a normalização, foi aplicado o filtro de Savitzky-Golay nos sinais normalizados, como ilustrado na Figura 13 para os sinais de lesões de pele.

**Figura 13** – Lesões de pele após normalização e passagem do filtro de Savitzky-Golay.



Fonte : O autor

Após finalizar o pré-processamento de todos os dados, os sinais referentes às lesões de pele foram organizada em grupos distintos, a saber: Pele saudável, Lesões de Pele, Lesões Ceratóticas (Actínia e Seborreica), Lesões Neoplásicas e Lesões não Neoplásicas. A divisão em grupos foi necessária para explorar as diferentes características fisiológicas das lesões e realizar as interações.

Para explorar as capacidade do DLP NIRscan no auxílio do diagnóstico de lesões de pele, foram elencadas as seguintes os seguintes questionamentos:

- A) A espectroscopia do infra vermelho próximo coletada pelo dispositivo DLP NIRscan é capaz de distinguir pele saudável e pele doente?
- B) O campo de captação do DLP NIRscan (de 8 mm de diâmetro) interfere nos resultados?
- C) A espectroscopia NIR coletada pelo dispositivo DLP NIRscan é capaz de distinguir pele saudável de câncer de pele?
- D) A espectroscopia NIR coletada pelo dispositivo DLP NIRscan é capaz de diagnosticar leões pré-neoplásicas?
- E) A espectroscopia NIR coletada pelo dispositivo DLP NIRscan é capaz de diagnosticar lesões neoplásicas de outras lesões de pele?

Para responder às perguntas anteriores, uma série de implementações dos algoritmos foi realizada. Para otimizar os resultados, vários hiperparâmetros foram testados empiricamente. Por fim o modelo implementado com os melhores resultados foi utilizado o PCA com 6 componentes principais associado ao SVM com validação cruzada de 5 grupos (*5-fold cross validation*). Para cada correlação de espectroscopia foi calculado os valores médios e de desvio padrão da acurácia, sensibilidade e especificidade, por meio da matriz de confusão.

Os algoritmos foram executados conforme trabalhos existentes (sintetizados na Tabela 7), realizando-se divisões em grupamentos. A Tabela 6 sintetiza os principais resultados obtidos no estudo com grifos do autor no melhor resultado.



**Tabela 6** – Resultados obtidos para as diversas combinações empregadas.

<b>CORRELAÇÃO DAS ESPECTROSCOPIAS</b>	<b>Acurácia ± Dp (%)</b>	<b>Sensibilidade ± Dp (%)</b>	<b>Especificidad e ± Dp (%)</b>
Pele x Lesão de Pele	79 ± 4	81 ± 9	76 ± 5
Pele x Lesões Maiores que 8mm	85 ± 8	76 ± 2	91 ± 4
Pele x Lesões Pré-neoplásicas	84 ± 4	6	97 ± 5
Pele x Ceratoses	89 ± 3	58 ± 10	93 ± 3
Pele x Neoplasias maiores que 8mm	<b>89 ± 4</b>	<b>70 ± 8</b>	<b>95 ± 5</b>
Lesão não neoplásica x Neoplasia maiores que 8mm	73 ± 7	28	92 ± 4
Ceratoses x Neoplasia maiores que 8mm	58 ± 13	66 ± 12	46 ± 17
Pele x lesão não neoplásica	76 ± 4	72 ± 12	79 ± 6

Fonte: O Autor

Seguindo os questionamentos levantados anteriormente, em conjunto com as técnicas de AM empregadas, o dispositivo foi capaz de fazer a distinção entre pele saudável e pele não saudável com acurácia de  $79\% \pm 4\%$ , especificidade de  $81\% \pm 9\%$  e sensibilidade com até  $76\% \pm 5\%$ , já se mostrando com feramente viável a análise da pele.

O tamanho da lesão e da captação parecem interferir diretamente nos resultados. Por exemplo, ao analisar lesões maiores que 8 mm de diâmetro, observamos um aumento na acurácia média de até 5% e de 15% na especificidade, com queda de 5% na sensibilidade. Esse fato se deve à melhor captura de área com sensor do dispositivo, sendo que um probe de fibra ótica poderia ser útil na captação precisa da lesão.

Houve um aumento na acurácia e especificidade na distinção de lesões pré-neoplásicas e lesões classificadas com ceratose. Possivelmente, isso se deve ao aumento de produtos extracelular, já relatado na literatura (MUÑOZ MIRANDA; NAKAYA, 2020.). Houve uma queda expressiva na sensibilidade na relação pele/lesão pré-neoplásica e lesão não neoplásica/neoplasias maiores que 8 mm, o que pode estar relacionado à baixa quantidade de amostra (15 e 24 espectroscopias, respectivamente).

Segundo Pereira *et al.*, (2018), a precisão dos modelos de *deep learning* está intimamente ligada à quantidade de amostras disponíveis para treinamento, uma vez que a diversidade e a quantidade permitem ao modelo capturar variações e nuances mais refinadas dos dados. À medida que o volume de dados aumenta, os modelos

conseguem uma melhor generalização generalizar e apresentam maior precisão nas suas predições.

A importância também reside na capacidade de expor o modelo a cenários diversos e padrões sutis que podem não ser aparentes em conjuntos de dados menores. Esse treinamento abrangente leva a modelos mais robustos (JOHNSON; KHOSHGOFTAAR, 2019). Dentro desse cenário, é positiva a criação de bancos com sinais de espectroscopia a fim de aperfeiçoar o modelo.

O resultado obtido foi ligeiramente superior ao se comparar trabalhos semelhantes. Por mais que exista uma diversidade de dispositivos, técnicas de processamento e exposição de resultado, existem aproximações metodológicas. A Tabela 7 apresenta, de forma sucinta, pesquisas que usaram a espectroscopia NIR para o diagnóstico de lesões de pele.

**Tabela 7** – Resultados de trabalhos similares.

AGRUPAMEN- TO DAS ES- PECTROSCO- PIAS	DISPOSITIVO	ACU- RÁCIA (%)	SENSI- BILIDADE (%)	ESPECIFI- CIDADE (%)	PROCE- SAMENTO	AUTOR
Pré-maligna x Neoplasia	Foss NIRSys- tems Model 6500	71			LDA	McIntosh <i>et al.</i> , 2001
Pré-maligna x Pele	Foss NIRSys- tems Model 6500	77			LDA	McIntosh <i>et al.</i> , 2001
Neoplasia x Pele	Foss NIRSystems Model 6500	85			LDA	McIntosh <i>et al.</i> , 2002
Ceratose sebor- reica x Carcino- ma basocelular	Foss NIRSystems Model 6500	81			LDA	McIntosh <i>et al.</i> , 2002
Carcinoma baso- celular x Nevos	Foss NIRSystems Model 6500	81			LDA	McIntosh <i>et al.</i> , 2002
Carcinoma espi- nocelular x Cera- tose actínica	NIRO® 200-NX, Hamamatsu	*			Estatística	SEONI et al. 2019
Melanoma x Ne- vos pigmentado	Photal MCPD- 1000 spectropho- tometer		100	90	Validação Cruzada – SVM	WALLACE et al. 2000
Pele x Ceratose actínica	Micronir spectro- meter	85			LightGBM	Loss <i>et.</i> <i>al.</i> , 2024
Pele x X Carci- noma basocelular	Micronir spectro- meter	83			LightGBM	Loss <i>et.</i> <i>al.</i> , 2024

- Valor de P <0,05

Fonte: O autor

O estudo McIntosh *et al.*, 2001 investigou o uso NIR para diagnóstico de lesões cutâneas. A pesquisa demonstrou que a espectroscopia NIR é eficaz na diferenciação de lesões como nevos displásicos, ceratoses actínicas e carcinoma basocelular. O presente trabalho mostrou-se superior com 89% de acurácia% (até 93% considerando o desvio padrão)) de acurácia contra 71% na relação pele x câncer de pele e também mostrou-se superior na distinção entre pele x lesão pré-neoplásica com até 88% contra 71%.

Seguindo o desenvolvimento, os mesmo autores (McIntosh *et al.*, 2002) progrediram na análise das amostras fazendo novas interações de lesões cutâneas aprimorando as técnicas de processamento. Novamente, os resultados do presente trabalho foram superiores aos relatados na citação, com 89% de acurácia contra 85% na relação pele x câncer de pele. Devido à quantidade inferior de amostras no presente trabalho, não houve a possibilidade de realizar interações entre demais lesões. Os trabalhos citados foram realizados no Canadá em parceria entre hospital e universidade. Ambos utilizaram espectroscopia NIR sem outra técnica complementar

No estudo de SEONI *et al.*, (2019), foi analisada a resposta vascular de lesões de Ceratose Actínica e Carcinoma Espinocelular após a aplicação de um estímulo frio. Utilizando MANOVA para comparar as épocas de antes, durante e depois da estimulação, os resultados mostraram diferenças estatisticamente significativas nas respostas vasculares entre a pele saudável, com Valor de P menores que 0.05. Esses resultados indicam que, sob condições basais, as respostas vasculares eram similares, mas diferiram significativamente após a estimulação. O trabalho abrange o sinal de O2Hb (Fração de oxihemoglobina) e HHb (hemoglobina reduzida capaz de transportar oxigênio).

O trabalho de Loss *et al.*, (2024) foi realizado no Brasil e buscou desenvolver um padrão ouro na classificação de dados espectrais NIR para o câncer de pele. Os pesquisadores utilizaram várias técnicas de pré-processamento, extração de características e aumento de dados para melhorar a classificação das lesões cutâneas. Entre os algoritmos testados, foram incluídos XGBoost, CatBoost, LightGBM, redes neurais convulsionais 1D (1D-CNN), SVM e Análise Discriminante de Mínimos Quadrados Parciais (PLS-DA). Dentre as interações presente no modelo

estudado, foram observados resultados semelhantes aos do presente trabalho, na faixa de 85-93% de acurácia na relação pele x carcione basocelular.

Os melhores resultados de acurácia foram obtidos justamente na distinção entre lesão neoplásica e pele saudável, dado também observado nos trabalhos de McIntosh *et al.*, (2001) e (2002) e no trabalho de Loss *et al.* (2024). Esse fenômeno revela que quanto maior o grau de complexidade da lesão e atipia celular esperada, maior é a capacidade de distinção dos tecidos.

Por fim, com o dispositivo e técnica de processamento utilizados no presente trabalho, foram obtidos resultados semelhantes aos da biópsia. A biópsia e o estudo histopatológico são considerados o padrão ouro para diagnóstico de câncer de pele, pois possuem uma sensibilidade superior a 90%, dependendo do tipo de câncer e da localização da lesão. A biópsia de pele é um método eficaz para identificar tanto melanomas quanto carcinomas basocelulares e espinocelulares, com taxas de precisão diagnóstica que variam entre 85% e 95% (MOGENSEN; JEMEC, 2007).

#### 4.3 RELAÇÕES ENTRE ESPECTROSCOPIA E MODELOS BIOLÓGICOS

Existem diversas construções teóricas e modelos que visam explicar a capacidade e efetividade da espectroscopia NIR. A seguir, foi elencado um apanhado de modelos teóricos desenvolvido em trabalhos experimentais, *ex-vivo* e *in-vivo*:

- **Água:** Mostra picos de absorção significativos em torno de 1450nm e 1940nm, relacionados às vibrações de estiramento e deformação da molécula de água. Lesões neoplásicas podem apresentar menor concentração de água devido hiperprodução de proteínas e lipídios (CAVALLARI *et al.*, 2012);
- **Lipídios:** Exibem bandas características na região de 1700nm, associadas às vibrações de estiramento C=O dos grupos éster, costumam estar aumentados e lesões neoplásicas tipo não melanoma (HÖLAND *et al.*, 2003);
- **Proteínas:** Apresentam picos na região de 1600nm, correspondentes às vibrações de estiramento C-H das ligações peptídicas. Normalmente

aumentadas em lesões neoplásicas devido à hiperprodução de proteínas (LEITER *et al.*, 2004);

- **Ácidos Nucleicos:** Mostram absorções significativas na faixa de 1000 a 1200nm, relacionadas às vibrações das ligações fosfodiéster. Vinculado com a hiperprodução e crescimento desordenados (LEITER *et al.*, 2004).
- **Perfusão e concentração de O<sub>2</sub>:** A avaliação da perfusão tecidual poder ser mensurada, indicando o aumento da vascularização induzida pelo fator de crescimento endotelial vascular (ROY *et al.*, 2010; SEONI *et al.*, 2019; MCLAY *et al.*, 2016).

#### 4.4 PERSPECTIVA DE TRABALHOS FUTUROS

Tendo como base os resultados deste trabalho e as possíveis capacidades da técnica de espectroscopia NIR, trabalhos futuros com novas pesquisas sobre algoritmos de aprendizado de máquina poderiam melhorar a precisão e a confiabilidade da classificação de lesões de pele. O objetivo seria treinar algoritmos de aprendizado profundo que possam analisar grandes conjuntos de dados espectrais e identificar padrões mais sutis associados a diferentes tipos de câncer de pele. Teria como impacto aumentar a capacidade de detecção precoce e reduzir falsos positivos e falsos negativos.

Também poderiam ser realizados estudos longitudinais e clínicos de grande escala para validar a eficácia da espectroscopia NIR em populações diversas, acompanhar o paciente e os estágios da lesão, da cicatriz e da evolução posterior ao longo do tempo a fim de se buscar alterações cutâneas não perceptíveis no espectro visível. Isto teria como impacto o fornecimento de dados robustos sobre a sensibilidade, especificidade e valor preditivo da técnica.

Ainda como sugestão, poderiam ser investigadas integrações com outras modalidades não invasivas, tais como o estudo de imagens com auxílio de recursos de AM e IA. Isto impactaria na melhoria da precisão diagnóstica e incorporação com a tele dermatologia.

Também é de extrema importância a exploração de novas bandas espectrais e métodos de análise objetivando identificar e documentar as assinaturas espectrais

de câncer de pele. Estudar bandas espectrais poderia diminuir o custo operacional e descobrir novos marcadores moleculares.

Por fim, também há possibilidade de exploração e avaliação em outros tipos de neoplasia e tecidos, como por exemplo, a junção de um fibra ótica para endoscopias, colonoscopias e broncoscopias. Trabalhos iniciais já foram desenvolvidos (NOOTHALAPATI; IWASAKI; YAMAMOTO, 2021).

## **5. CONCLUSÃO E REFLEXÕES FINAIS**

O presente trabalho teve êxito em coletar e criar um banco de dados de espectroscopia de pele saudável e de lesões de pele com 91 e 73 sinais especificamente. Foram realizadas sem intercorrências entrevistas com 73 indivíduos, obtendo-se informações relevantes para caracterizar o comportamento e uso dos meios de fotoproteção, informação relevante na criação e desenvolvimento de políticas públicas. Conjuntamente, houve êxito em explorar a capacidade do dispositivo DLP NIRscan em realizar a análise de lesões de pele por meio da espectroscopia NIR. Para tal, foi implementado com sucesso um modelo de AM utilizando uma técnica supervisionada, com resultados compatíveis com o padrão ouro relatados na literatura.

Podemos concluir que a população estudada dentro do período foi de maioria do sexo feminino com predomínio da quinta década, sendo a agricultura a profissão mais exercida, apresentando índice Fitzpatrick entre II-IV como mais prevalente, perfil compatível com trabalhos prévios na literatura estudada, assim como a baixa adesão a meios de proteção solares.

Foi observada a presença de hiperutilizadores com grande demanda nos atendimentos dermatológicos em reconsultas. Ações de ampliação do atendimento e práticas de tele dermatologia poderiam ser benéficas, assim como a ampliação dos atendimentos para diminuir o tempo de espera. Houve uma grande diferença entre o serviço particular e o serviço público no tempo de espera ao atendimento.

A análise das características das lesões mostrou que o local mais predominante de ocorrência foi o rosto. A lesão neoplásica mais identificada foi o carcinoma basocelular e as lesões não neoplásicas mais diagnosticadas foram os nevos e as ceratoeses (actínica e seborreica) seguidos de nevos simples, em

concordância com os relatos da literatura especializada. Também foi criado com sucesso um banco de dados de sinais de espectroscopia NIR de pele saudável e de uma variedade de lesões e alterações de pele para consulta e aplicação de novos meios de processamento com uso de recursos de inteligência artificial, contribuindo com o desenvolvimento e aplicação biológica da espectroscopia.

Foram aplicados algoritmos de pré-processamento e classificação por aprendizado de máquina dos sinais de espectroscopia. Os resultados mostraram que os modelos baseados em NIR e aprendizado de máquina alcançaram alta precisão, sensibilidade e especificidade na detecção de câncer de pele. Utilizando o Dispositivo DLP NIRscan junto com a técnica de PCA e o algoritmo SVM, foi possível atingir até 89% de acurácia, 70% de sensibilidade e 95% de especificidade na distinção entre neoplasia de pele maior que 8 mm e pele sem doença, nível de precisão semelhante a de especialistas e ao diagnóstico por histopatologia, sendo uma alternativa auxiliar de grande potencial de desenvolvimento e uso na prática dermatológica.

Foi demonstrado que o dispositivo possui potencial de ser utilizado em programas de teledermatologia, em triagens em programas de rastreio de câncer de pele e pode auxiliar médicos generalistas no diagnóstico e no correto encaminhado para serviço especializado.

A técnica empregada não teve boa acurácia na distinção entre lesões de pele e lesões neoplásicas, fator que pode estar relacionado à baixa quantidade de amostras. A acurácia do modelo é superior quando captada a área total da lesão, assim como a presença de atipias celulares.

Novos estudos podem ser realizados a fim de explorar as potencialidades da técnica do dispositivo nos seguintes pontos:

- a) Novas associações entre técnicas de processamento de espectroscopias, visto resultados positivos na associação de PCA e SVM;
- b) Ampliação do banco de dados de sinais de espectroscopia com lesões diversas, com novas amostras para aumentar ainda mais a acurácia e a generalização dos modelos preditivos;
- c) Captação e correlação específica entre outras lesões de pele, incluindo lesões inflamatórias e autoimunes;
- d) A utilização de campos mais preciso de captação, como por exemplo usando fibra ótica, poderia delimitar com precisão o local da lesão, principalmente na

identificação de margens tumorais, permitindo que os cirurgiões removam com precisão o tecido canceroso enquanto preservam o tecido saudável;

Por fim, a análise espectral permitiu a distinção entre tecidos cancerígenos e não cancerígenos com base em suas assinaturas de sinais de espectroscopia, destacando o potencial da NIR como uma ferramenta não invasiva para o diagnóstico de câncer de pele, representando um avanço significativo na dermatologia e proporcionando um método promissor para melhorar o diagnóstico e o tratamento do câncer de pele com uso do dispositivo móvel.

Os avanços obtidos expandem a capacidade do uso da espectroscopia NIR, sendo um recurso passível de ser utilizado em programas de tele dermatologia, tornando a técnica acessível e prática para futuro uso clínico diário. Os desafios para a ampla adoção da espectroscopia NIR incluem a padronização dos métodos (formas de processamento) e padronização dos dispositivos. Para tal, a colaboração entre pesquisadores, médicos e engenheiros é essencial para superar essas barreiras.

O futuro da espectroscopia NIR é promissor, com potencial para revolucionar o diagnóstico e o monitoramento médico. A integração com outras tecnologias, como inteligência artificial, pode aprimorar ainda mais a precisão e a utilidade clínica da técnica, transformando-a em uma ferramenta indispensável na medicina moderna.



## 6. REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, Mariana Torres et al. Prevalência de lesões de pele e subcutâneo em serviço de cirurgia ambulatorial. **Jornal Interdisciplinar de Ciências Médicas**, v. 4, n. 1, p. 50-54, 2020.
- ALSAYYAH, Ahmed. Differentiating Between Early Melanomas and Melanocytic Nevi: A State-of-the-Art Review. **Pathology-Research and Practice**, p. 154734, 2023.
- ALONSO-CAO, R., et al. DermLite DL100: A Portable Dermatoscope for Skin Cancer Diagnosis. **Journal of Dermatological Science**, v. 98, n. 1, p. 1-7, 2020.
- ALVES, Dalton Gonçalves Lima et al. Estrutura e função da pele. **Medicina Ambulatorial IV**. Montes Claros-MG: Dejan Gráfica e Editora, 2019.
- ANDERSON, Alyce M. et al. Accuracy of skin cancer diagnosis by physician assistants compared with dermatologists in a large health care system. **JAMA Dermatology**, v. 154, n. 5, p. 569-573, 2018.
- ANDERSON, R. R.; PARRISH, J. A. The Optics of Human Skin. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 77, n. 1, p. 13-19, 1981.
- ANDRADE, Cleusa Wanderley et al. Dezembro Laranja: ação contra o câncer de pele em uma cidade do Nordeste brasileiro. **Revista de Ensino, Ciência e Inovação em Saúde**, v. 3, n. 1, p. 6-12, 2022.
- ANDRADE, Livia Silveira; DE BEM, Yuri Almeida; TEIXEIRA, Gabrielle Isis Alcântara. Análise dos diferentes tipos de pele e sua suscetibilidade ao câncer de pele sob a exposição aos raios ultravioleta no Brasil. In: **Congresso Médico Acadêmico UniFOA**, 2024.
- BARANOSKI, G. V. G.; KIM, R. Advances in Modeling the Optical Properties of Skin. **Journal of Biomedical Optics**, v. 14, n. 6, p. 064001, 2009.
- BARCAUI, Carlos Baptista; MIOT, Helio Amante. Perfil do uso da dermatoscopia entre dermatologistas no Brasil (2018). **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 95, n. 5, p. 602-608, 2020.
- BARSZCZ, Karin et al. Qualidade dos encaminhamentos da atenção primária a um serviço de dermatologia. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 31, p. e31030353, 2023.
- BEĆ, Krzysztof B.; GRABSKA, Justyna; HUCK, Christian W. Near-infrared spectroscopy in bio-applications. **Molecules**, v. 25, n. 12, p. 2948, 2020.

- BERNARDO, Ana Flávia Cunha; SANTOS, Kamila dos; SILVA, Débora Parreiras da. Pele: alterações anatômicas e fisiológicas do nascimento à maturidade. **Revista Saúde em Foco**, v. 1, n. 11, p. 1221-1233, 2019.
- BISONG, Ekaba. Google colabatory. **Building machine learning and deep learning models on Google cloud platform: a comprehensive guide for beginners**, p. 59-64, 2019.
- BOHJANEN, Kimberly. Estrutura e funções da pele. **Dermatologia Clínica. Seção I Bases para diagnóstico e tratamento**, 2017.
- BORISOVA, E. et al. Optical UV-VIS-NIR spectroscopy of benign, dysplastic and malignant cutaneous lesions ex vivo. In: **Biophotonics: Photonic Solutions for Better Health Care VI**. SPIE, p. 594-599, 2018.
- BRATCHENKO, Ivan A. et al. In vivo diagnosis of skin cancer with a portable Raman spectroscopic device. **Experimental Dermatology**, v. 30, n. 5, p. 652-663, 2021.
- BÜHRING, Cristina Alessandra Zachow et al. Subtipos de câncer de pele e os impactos dos fatores de risco. **Revista Interdisciplinar de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 8, n. 1, p. 241-254, 2020.
- BÜHRNHEIM, Maria Eduarda Silveira et al. Impacto da pandemia de COVID-19 nos procedimentos dermatológicos no Brasil. **Brazilian Medical Students**, v. 8, n. 11, 2023.
- CARUCCI, J. A., et al. Basal Cell Carcinoma Treatment Guidelines. **Journal of the American Academy of Dermatology**, v. 80, n. 2, p. 322-329, 2019.
- CARVALHO, André et al. Inteligência Artificial – uma abordagem de aprendizado de máquina. **Rio de Janeiro: LTC**, p. 45, 2011.
- CARVALHO, S. S. et al. Estudo das mutações no gene BRAF e a sua correlação com a progressão do melanoma. **Revista Brasileira de Oncologia**, v. 65, n. 2, p. 145-152, 2019.
- CAVALLARI, Claudia et al. Near-Infrared Spectroscopy for Skin Cancer Diagnosis: A Review. **Journal of Biophotonics**, v. 5, n. 6-7, p. 466-479, 2012.
- COBO, B; CRUZ, C; DICK, C. Desigualdades de gênero e raciais no acesso e uso dos serviços de atenção primária à saúde no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 26, n. 09, p. 4021-4032, 2021.
- COELHO, Bruno Fonseca Oliveira et al. On the feasibility of Vis–NIR spectroscopy and machine learning for real time SARS-CoV-2 detection. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 308, p. 123735, 2024.

COSTA-JÚNIOR, F. COUTO, M.; MAIA, B. Gênero e cuidados em saúde: Concepções de profissionais que atuam no contexto ambulatorial e hospitalar. **Sexualidad, Salud y Sociedad (Rio de Janeiro)**, p. 97-117, 2016.

COSTA PEREIRA, Jaqueline et al. Envelhecimento cutâneo e os cuidados estéticos na pele masculina. **Revista Pesquisa e Ação**, v. 5, n. 1, p. 26-34, 2019.

CRAYTHORNE, Emma; AL-NIAMI, Firas. Skin cancer. **Medicine**, v. 45, n. 7, p. 431-434, 2017.

DAHM, Kevin D.; DAHM, Donald J. Principles of Diffuse Reflectance Spectroscopy. **Handbook of Near-Infrared Analysis**, p. 27-43, 2021.

DIDONA, Dario et al. Non melanoma skin cancer pathogenesis overview. **Biomedicines**, v. 6, n. 1, p. 6, 2018.

DINNES, Jacqueline et al. Dermoscopy, with and without visual inspection, for diagnosing melanoma in adults. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, n. 12, 2018.

DI RUFFANO, Lavinia Ferrante et al. Computer-assisted diagnosis techniques (dermoscopy and spectroscopy-based) for diagnosing skin cancer in adults. **The Cochrane Database of Systematic Reviews**, v. 2018, n. 12, 2018. DOI: 10.1002/14651858.CD013187.

DRAKAKI, Eleni et al. Spectroscopic methods for the photodiagnosis of nonmelanoma skin cancer. **Journal of Biomedical Optics**, v. 18, n. 6, p. 061221-061221, 2013.

DROZDOWSKI, Roman et al. Dysplastic nevus part I: Historical perspective, classification, and epidemiology. **Journal of the American Academy of Dermatology**, v. 88, n. 1, p. 1-10, 2023.

FERREIRA, César Augusto Zago et al. Desenvolvimento e validação de rede neural artificial para suporte ao diagnóstico de melanoma em imagens dermatoscópicas. **Surgical & Cosmetic Dermatology**, v. 13, 2021.

FERREIRA, M. M. C. **Quimiometria: conceitos, métodos e aplicações**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2015.

FRANÇA, Mary Anne de Souza Alves et al. Tempo máximo para o início do tratamento do câncer de boca no Brasil após a publicação da legislação de 2012: tendência no período 2013-2019. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 37, p. e00293220, 2021.

FREITAS, Lúcia; DOS SANTOS, Edinaldo. A teletriagem como ferramenta para a gestão de filas de espera em um Hospital Universitário. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 6, p. e11713646183-e11713646183, 2024.

GARANI, Rafael et al. Fatores associados ao câncer da pele em indivíduos de meia idade e idosos. **Saúde (Santa Maria)**, 2022.

GILCHREST, B. A., et al. Epidermis: Structure and function. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 139, n. 8, p. 1584-1592, 2019.

GOMES, Joana et al. Perfil do hiperfrequentador nos cuidados de saúde primários. **Acta Médica Portuguesa**, v. 26, n. 1, p. 17-23, 2013.

GONELLA, Hamilton Aleardo; PEDROSO, Igor Queiroz; DA SILVA, Victor Hugo Teruel Ribeiro. Estudo de recidiva de carcinoma de pele. **Revista da Faculdade de Ciências Médicas de Sorocaba**, 2019.

GOON, P.; BANFIELD, C.; BELLO, O.; LEVELL, N. J. Skin cancers in skin types IV-VI: Does the Fitzpatrick scale give a false sense of security? **Skin Health and Disease**, v. 1, n. 3, e40, 2021. DOI: 10.1002/ski2.40. PMID: 35663142; PMCID: PMC9060139.

GUTJAHR, Glênio Marchezan et al. Câncer da pele não melanoma - Análise de 293 casos diagnosticados em um hospital universitário no extremo sul do Brasil. **VITTALLE - Revista de Ciências da Saúde**, v. 22, n. 2, p. 63-72, 2010.

HASAN, Nazeer et al. Skin cancer: understanding the journey of transformation from conventional to advanced treatment approaches. **Molecular cancer**, v. 22, n. 1, p. 168, 2023.

HARWOOD, Catherine A. et al. Human papillomavirus infection and non-melanoma skin cancer in immunosuppressed and immunocompetent individuals. **Journal of Medical Virology**, v. 61, n. 3, p. 289-297, 2000.

HASTIE, Trevor; TIBSHIRANI, Robert; FRIEDMAN, Jerome. **The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction**. New York: Springer Science & Business Media, 2009.

HÖLAND, Walter et al. Near-Infrared Spectroscopy in Dermatology. **Analytical Chemistry**, v. 75, n. 9, p. 2228-2236, 2003.

HOLICK, Sunlight, UV radiation, vitamin D, and skin cancer: how much sunlight do we need?. **Sunlight, Vitamin D and Skin Cancer**, p. 19-36, 2020.

HOM, C., et al. Advances in the Treatment of Melanoma: An Overview. **Clinical Medicine Insights: Oncology**, v. 13, p. 1-13, 2019.

HOM, J. R.; et al. The Role of Checkpoint Inhibitors in Melanoma Therapy. **New England Journal of Medicine**, v. 381, n. 3, p. 248-256, 2019.

IMANICHI, Danielle et al. Fatores de risco do câncer de pele não melanoma em idosos no Brasil. **Diagn Tratamento**, v. 22, n. 1, p. 3-7, 2017.

INCA Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. Estimativa de novos casos para o triênio 2020-2022. Disponível em: <<https://www.saude.gov.br/noticias/agencia-saude/46287-inca-lanca-estimativas-de-casos-novos-de-cancer-para-o-trienio-2020-2022>>. Acesso em: 18 jun. 2024.

Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. Detecção precoce do câncer. Rio de Janeiro: INCA, 2021.

IRANZO, Carmen Cabañés et al. Lesões cutâneas malignas e pré-malignas: conhecimentos, hábitos e campanhas de prevenção solar. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 28, p. 2-6, 2015.

JACKSON, Michael; MANTSCH, Henry H. Infrared spectroscopy, ex vivo tissue analysis by. **Encyclopedia of Analytical Chemistry: Applications, Theory and Instrumentation**, 2006.

JAKKULA, Vikramaditya. Tutorial on support vector machine (svm). **School of EECS, Washington State University**, v. 37, n. 2.5, p. 3, 2006.

JOHNSON, Justin M.; KHOSHGOFTAAR, Taghi M. Survey on deep learning with class imbalance. **Journal of Big Data**, v. 6, n. 1, p. 1-54, 2019.

JORDAN, Michael I.; MITCHELL, Tom M. Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. **Science**, v. 349, n. 6245, p. 255-260, 2015.

JOUARY, T., et al. Advanced Cutaneous Squamous Cell Carcinoma: Management Update. **Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology**, v. 34, n. 4, p. 746-753, 2020.

KARIA, P. S., et al. Clinical Management of Nonmelanoma Skin Cancer. **Journal of the American Academy of Dermatology**, v. 84, n. 3, p. 607-619, 2021.

KARIA, P. S.; et al. Genetic Alterations and Their Implications in Melanoma. **Journal of Clinical Oncology**, v. 39, n. 12, p. 2376-2385, 2021.

KAWAHALA, Nicolas Massarico. **Espectroscopia de terahertz no domínio do tempo: implementação, caracterização e aplicações**. 2023. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

KILPATRICK-LIVERMAN, LaTonya et al. The use of near-infrared spectroscopy in skin care applications. **Skin Research and Technology**, v. 12, n. 3, p. 162-169, 2006.

KUMAR, P.; WATSON, S.; BRAIN, A. N.; DAVENPORT, P. J.; McWILLIAM, L. J.; BENERJEE, S. S.; et al. Incomplete excision of basal cell carcinoma: a prospective multicentre audit. **British Journal of Plastic Surgery**, v. 55, n. 8, p. 616-622, 2002.

LEITER, Ulrich et al. Non-invasive screening of skin lesions by near-infrared spectroscopy. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 123, n. 1, p. 1-7, 2004.

LEITER, Ulrike; KEIM, Ulrike; GARBE, Claus. Epidemiology of skin cancer: update 2019. **Sunlight, Vitamin D and Skin Cancer**, p. 123-139, 2020.

LINARES, Miguel A.; ZAKARIA, Alan; NIZRAN, Parminder. Skin cancer. **Primary Care**, v. 42, n. 4, p. 645-659, 2015.

LIMA, Júlia C. et al. A importância do cuidado diário na saúde da pele. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 5, p. e21412541571-e21412541571, 2023.

LOSS, Flavio P. et al. Skin cancer diagnosis using NIR spectroscopy data of skin lesions in vivo using machine learning algorithms. **arXiv preprint**, arXiv:2401.01200, 2024.

LUO, Ruihao; POPP, Juergen; BOCKLITZ, Thomas. Deep learning for Raman spectroscopy: A review. **Analytica**, v. 3, n. 3, p. 287-301, 2022.

MANCERO, Silvia E.; WANG, Steven Q. Skin cancer: role of ultraviolet radiation in carcinogenesis. **Reviews on Environmental Health**, v. 29, n. 3, p. 265-273, 2014.

MARTÍNEZ, M. L.; PÉREZ-GARCÍA, L. J.; ESCARIO-TRAVERSEDO, E.; RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ, M.; AZAÑA-DEFEZ, J. M.; MARTÍN DE HIJAS SANTOS, M. C. Referrals to dermatology: proportion of banal disorders. **Actas Dermosifiliogr**, v. 102, n. 3, p. 193-198, 2011.

MARTINS, Quesle. Uma breve apresentação sobre espectroscopia. Blogue. Disponível em: <<https://queslemartins.unir.br/pagina/exibir/19174>>. Acesso em: 24 jul. 2024.

MCINTOSH, Laura M. et al. Near-infrared spectroscopy for dermatological applications. **Vibrational Spectroscopy**, v. 28, n. 1, p. 53-58, 2002.

MCINTOSH, Laura M. et al. Towards non-invasive screening of skin lesions by near-infrared spectroscopy. **Journal of Investigative Dermatology**, v. 116, n. 1, p. 175-181, 2001.

MCLAY, Kaitlin M. et al. Vascular responsiveness determined by near-infrared spectroscopy measures of oxygen saturation. **Experimental Physiology**, v. 101, n. 1, p. 34-40, 2016.

MOGENSEN, Mette; JEMEC, Gregor B. E. Diagnosis of nonmelanoma skin cancer/keratinocyte carcinoma: a review of diagnostic accuracy of nonmelanoma skin cancer diagnostic tests and technologies. **Dermatologic Surgery**, v. 33, n. 10, p. 1158-1174, 2007.

MONARD, Maria Carolina; BARANAUSKAS, José Augusto. Conceitos sobre aprendizado de máquina. **Sistemas inteligentes-Fundamentos e aplicações**, v. 1, n. 1, p. 32, 2003.

MUÑOZ MIRANDA, Mindy Stephania de Los Angeles; NAKAYA, Helder Takashi Imoto. **Cancer immunology of cutaneous melanoma: a systems biology approach**, 2020.

MURPHY, Kevin P. **Machine learning: a probabilistic perspective**. MIT Press, 2012.

NOGUEIRA, Lima M. de F. de B. C.; LIMA, R. N.; REINALDO, L. G. C.; ALENCAR, A. de S.; FILHO, C. A. R. da S.; MARTINS, T. B. P.; CARDOSO, V. P.; VIANA, A. de O.; SILVA, J. C. da; JÚNIOR, M. B. de M. Ressecção primária incompleta do câncer de pele não melanoma em um hospital universitário. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 13, n. 7, p. e7437, 7 jul. 2021.

NOGUEIRA-RODRIGUES, Angélica et al. Rastreamento de câncer na prática clínica: recomendações para a população de risco habitual. **Revista da Sociedade Brasileira de Clínica Médica**, v. 17, n. 4, p. 201-210, 2019.

NOOTHALAPATI, Hemanth; IWASAKI, Keita; YAMAMOTO, Tatsuyuki. Non-invasive diagnosis of colorectal cancer by Raman spectroscopy: Recent developments in liquid biopsy and endoscopy approaches. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 258, p. 119818, 2021.

NOVOTNY, E. H. et al. Avaliação das alterações estruturais da serapilheira de florestas plantadas em decomposição por meio da espectroscopia vibracional (FTIR) aliada à análise de componentes principais (PCA), 2013.

OLIVEIRA, Agripino. Hiper utilizadores e urgência. **Acta Médica Portuguesa**, v. 21, n. 6, p. 553-558, 2008.

PANTOJA, Jessica Corrêa. Dermatologia na Atenção Primária no Brasil: O processo de formação dos médicos generalistas. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 2, p. e10713244852-e10713244852, 2024.

PEREIRA, Jamile; KLEIN, Carin; MEYER, Dagmar Estermann. PNAISH: uma análise de sua dimensão educativa na perspectiva de gênero. **Saúde e Sociedade**, v. 28, p. 132-146, 2019.

PEREIRA, Natasha Sophie et al. Deep learning conceitos e utiliza o nas diversas áreas do conhecimento. **Revista Ada Lovelace**, v. 2, p. 34-49, 2018.

PIRES, Carla Andréa Avelar et al. Câncer de pele: caracterização do perfil e avaliação da proteção solar dos pacientes atendidos em serviço universitário. **Journal of Health & Biological Sciences**, v. 6, n. 1, p. 54-59, 2018.

PONTIL, M.; VERRY, A. Properties of support vector machines. **MIT Press Journals. In Neural Computation**. [S.l.]: Mit Press Journals. In Neural Computation, v. 10, p. 955–974, 1998.

QUEIROZ, Rodrigues et al. O Melanoma pode esperar o Fim da Pandemia da Covid-19?. **Revista Brasileira de Cancerologia**, v. 67, n. 4, 2021.

RIMOIN, D. L.; PLOETZ, B. M.; SHERLOCK, J. L. Genetic basis of basal cell carcinoma. In: **Emery and Rimoin's Principles and Practice of Medical Genetics**. 6. ed. New York: Elsevier, p. 1841-1851, 2013.

RINNAN, Åsmund; VANDENBERG, Frans; ENGELSEN, Søren Balling. Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 28, n. 10, p. 1201-1222, 2009.

ROBERT, C., et al. Pembrolizumab versus Ipilimumab in Advanced Melanoma. **New England Journal of Medicine**, 372(26), 2521-2532, 2021.

RODRIGUES, Ariano De Giovanni; GALZERANI, José Cláudio. Espectroscopias de infravermelho, Raman e de fotoluminescência: potencialidades e complementaridades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, p. 4309, 2013.

ROESE, Adriana et al. Diário de campo: construção e utilização em pesquisas científicas. **Online braz. j. nurs. (Online)**, 2006.

ROSS, Michael; PAWLINA, Wojciech. Ross Histologia: texto e atlas. 7. ed. **Rio de Janeiro: Guanabara Koogan**, 2016.

ROY, H. K. et al. OC-077 Field effect identification via spectroscopic rectal microvasculature enables accurate proximal neoplasia detection by flexible sigmoidoscopy, 2010.

SAGINALA, V.; et al. Melanoma: Pathogenesis and Clinical Management. **Journal of Skin Cancer**, v. 2021, Article ID 6482095, 2021.

SCHMULTS, Chrysalyne D. et al. NCCN Guidelines® insights: squamous cell skin cancer, version 1.2022: Featured updates to the NCCN guidelines. **Journal of the National Comprehensive Cancer Network**, v. 19, n. 12, p. 1382-1394, 2021.

SEONI, Silvia et al. Non-invasive analysis of actinic keratosis using a cold stimulation and near-infrared spectroscopy. In: **2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)**. IEEE, 2019. p. 467-470.

SHAKYA, Bijay Ratna et al. The use of Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy in skin cancer research: a systematic review. **Applied Spectroscopy Reviews**, v. 56, n. 5, p. 347-379, 2021.



SILVA, A. K. et al. Câncer de pele: demanda de um serviço de dermatologia de um hospital terciário. **Saúde (Santa Maria)** [Internet]. 2012 [citado em 16 jan. 2014]; 38(2):55-64.

SILVA, Luciano Galdino da; GARCIA, Emanuel Soares da Veiga. Reflexos da colonização holandesa no desenvolvimento econômico e social de Alagoas (1630-1654). 2004.

SILVEIRA, Fabricio L. et al. Discrimination of non-melanoma skin lesions from non-tumor human skin tissues in vivo using Raman spectroscopy and multivariate statistics. **Lasers in Surgery and Medicine**, v. 47, n. 1, p. 6-16, 2015.

SIMONETI, Fernanda et al. Perfil epidemiológico de pacientes com tumores cutâneos malignos atendidos em ambulatório de cirurgia plástica de serviço secundário no interior de São Paulo. **Revista da Faculdade de Ciências Médicas de Sorocaba**, v. 18, n. 2, p. 98-102, 2016.

SOUZA, Alexandre Lemos; LOCATELLI, Claudriana; CENTA, Ariana. Câncer de pele: revisão narrativa dos subtipos mais prevalentes no Brasil. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 15, n. 11, p. 13802-13820, 2023.

SOUZA, M. S.; PESSOA, S. P.; MUNIZ, V. V.; REBELO, A. D.; HOLANDA, E. F.; PESSOA, L. P. Opções de reconstrução após ressecção de tumor de pele nasal. **Revista Brasileira de Cirurgia Plástica**, v. 34, supl. 3, p. 50-52, 2019.

STRATTON, S. P. et al. Advances in cutaneous oncology. **Current Opinion in Oncology**, v. 33, n. 2, p. 156-161, 2021.

STUART, B. Infrared spectroscopy. In: **Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology**. 2000.

THOMPSON, A. K. et al. Treatment of basal cell carcinoma: an evidence-based approach. **Dermatologic Clinics**, v. 38, n. 1, p. 321-335, 2020.

TRAVIS, W. D. et al. Pathology and genetics of skin tumors. **World Health Organization Classification of Tumours**, v. 8, n. 2, p. 1-44, 2020.

TRAVIS, W. D. et al. Advances in the pathogenesis of melanoma. **Cancer Cell**, v. 38, n. 3, p. 345-357, 2020.

VESTITA, Michelangelo; TEDESCHI, Pasquale; BONAMONTE, Domenico. Anatomy and Physiology of the Skin. **Textbook of plastic and reconstructive surgery: basic principles and new perspectives**, p. 3-13, 2022.

VILELA, I. de F. et al. Impacto da pandemia do vírus COVID-19 nas internações para tratamento de câncer de pele no Brasil. **Revista Brasileira de Cirurgia Plástica**, v. 36, n. 3, p. 303-308, 2021.

WALLACE, V. P. et al. Classification of reflectance spectra from pigmented skin lesions, a comparison of multivariate discriminant analysis and artificial neural networks. **Physics in Medicine & Biology**, v. 45, n. 10, p. 2859, 2000.

WEBER, P. et al. Dermatoscopia de lesões cutâneas neoplásicas: avanços recentes, atualizações e revisões. **Opções Atuais de Tratamento em Oncologia**, v. 19, n. 11, p. 1-17, 2018.

YARAK, S.; RUIZ, E. E. S.; PISA, I. T. A teledermatologia na prática médica. **Revista Brasileira de Educação Médica**, v. 41, p. 346-355, 2017.

YÉLAMOS, O. et al. Correlatos de dermatoscopia e dermatopatologia das neoplasias cutâneas. **Jornal da Academia Americana de Dermatologia**, v. 80, n. 2, p. 341-363, 2019.

ZAMBUZZI, I. M.; VIDAL, C. H. L.; PESSANHA, A. C. A. F. Análise do índice de acurácia diagnóstica e terapêutica baseado na dermatoscopia do câncer da pele não melanoma. **Surgical & Cosmetic Dermatology**, v. 9, n. 3, p. 224-227, 2017.

ZHANG, J. et al. Accuracy of Raman spectroscopy for differentiating skin cancer from normal tissue. **Medicine**, v. 97, n. 34, p. e12022, 2018.

ZIMMERMANN, B.; KOHLER, A. Optimizing Savitzky–Golay parameters for improving spectral resolution and quantification in infrared spectroscopy. **Applied Spectroscopy**, v. 67, n. 8, p. 892-902, 2013.

## **7. APENDICE**

### **7.1 PARECER DO COMITE DE ÉTICA**

#### **DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: Avanços no diagnóstico não invasivo de lesões de pele: O uso de espectroscopia no infravermelho próximo

Pesquisador: DANIEL MULLER DA SILVA

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 68264222.9.0000.0213

Instituição Proponente:

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

#### **DADOS DO PARECER**

Número do Parecer: 6.387.060

#### **Apresentação do Projeto:**

Conforme informações retiradas do arquivo PB\_INFORMAÇÕES\_BÁSICAS\_DO\_PROJETO\_2019250.pdf, o estudo "Avanços no diagnóstico não invasivo de lesões de pele: O uso de espectroscopia no infravermelho próximo" tem como hipótese que o uso da espectroscopia do infravermelho próximo é um meio não invasivo capaz auxiliar no diagnóstico de lesões de pele suspeita de neoplasia. O câncer de pele tem adquirido importância especial nas últimas décadas em virtude de sua crescente incidência. Hoje é considerado um problema de saúde pública no Brasil e no mundo. As neoplasias de pele são divididas em dois grandes grupos: câncer de pele melanocítico e o não melanocítico, para ambos o diagnóstico precoce é o fator determinante para a cura. O diagnóstico é realizado principalmente pela biopsia, procedimento invasivo, custoso financeiramente, com possibilidade de falha e com efeitos estéticos negativos, além de ser um procedimento de alta complexidade dentro do Sistema Único de Saúde (SUS). Dentro desse contexto, os meios não invasivos de diagnóstico são de extrema importância, sendo positiva a incorporação de novos recursos tecnológicos onde a espectroscopia do infravermelho próximo associado ao uso de inteligência artificial uma alternativa com resultados positivos em trabalhos internacionais correlatos.

Continuação do Parecer: 6.387.060

#### **Objetivo da Pesquisa:**

### **Objetivo Primário:**

Avaliar a viabilidade da espectroscopia no infravermelho próximo no auxílio do diagnóstico de lesões de pele na população fototípica Brasileira, mais especificamente do Vale do São Francisco.

### **Objetivo Secundário:**

- Criar um banco de dados de sinais espectrais de pele e de lesões de indivíduos brasileiros residentes no Vale do São Francisco para posterior pesquisa;
- Criar um banco de dados de dermatoscopia de lesões de indivíduos brasileiros residentes no Vale do São Francisco;
- Explorar diversas técnicas de processamento de dados a fim de aprimorar a análise de espectrometria de pele;
- Avaliar o perfil dos pacientes quanto a fatores preditores de lesões de pele de indivíduos que procuram atendimento dermatológico na rede particular de atendimento;
- Avaliar o perfil dos pacientes quanto a fatores preditores de lesões de pele de indivíduos referenciados da Atenção Básica para ambulatório dermatológico especializado;
- Avaliar a diferença entre o perfil de indivíduos com queixa dermatológica que procuram atendimento na rede privada com pacientes referenciados da rede primária dentro do SUS;
- Avaliar o perfil de lesões de pele incidentes em pacientes referenciados para atenção especializada e paciente que procuram atendimento por demanda espontânea;
- Explorar as potencialidades da espectroscopia no infravermelho próximo no auxílio do diagnóstico de lesões de pele.

### **Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

O projeto de pesquisa apresenta as relações de riscos e benefícios de forma adequada, de acordo com a Resolução CNS nº466/12.

### **Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

Trata-se de uma pesquisa com grande relevância científica para a área de Saúde Pública auxiliando no diagnóstico de lesões de pele suspeita de neoplasia de modo não invasivo através da espectroscopia do infravermelho

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

As documentações foram inseridas corretamente e encontram-se datadas e assinadas conforme as normas descritas na Resolução CNS nº 466/12.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Não há pendências ou inadequações para este projeto de pesquisa.

Considerações Finais a critério do CEP:

O CEP informa que de acordo com a Resolução CNS nº 466/12, Diretrizes e normas XI.

1- A responsabilidade do pesquisador é indelegável e indeclinável e compreende os aspectos éticos e legais e XI.

2- XI.2 - Cabe ao pesquisador: a) apresentar o protocolo devidamente instruído ao CEP ou à CONEP, aguardando a decisão de aprovação ética, antes de iniciar a pesquisa; b) elaborar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e/ou Termo de Assentimento Livre e Esclarecido, quando necessário; c) desenvolver o projeto conforme delineado; d) elaborar e apresentar os relatórios parciais e final; e) apresentar dados solicitados pelo CEP ou pela CONEP a qualquer momento; f) manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período de 5 anos após o término da pesquisa; g) encaminhar os resultados da pesquisa para publicação, com os devidos créditos aos pesquisadores associados e ao pessoal técnico integrante do projeto; e h) justificar fundamentadamente, perante o CEP ou a CONEP, interrupção do projeto ou a não publicação dos resultados.

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BASICAS_DO_PROJETO_2019250.pdf	19/09/2023 18:40:26		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	19/09/2023 18:40:04	DANIEL MULLER DA SILVA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projetocompleto.pdf	16/09/2022 22:39:37	DANIEL MULLER DA SILVA	Aceito
Folha de Rosto	20220916204410.pdf	16/09/2022 22:37:47	DANIEL MULLER DA SILVA	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	CARTA2.pdf	16/09/2022 18:56:21	DANIEL MULLER DA SILVA	Aceito
Declaração de concordância	CARTA1.pdf	16/09/2022 18:37:26	DANIEL MULLER DA SILVA	Aceito

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

GOIANA, 04 de Outubro de 2023

---

**Assinado por:**

**THAYANE REBECA ALVES DOS SANTOS**

**Coordenador(a))**