

APLICATIVO MÓVEL DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS PARA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE TECIDOS DE LESÕES POR PRESSÃO

Huara Paiva Castelo Branco¹, Levy Aniceto Santana², Rinaldo de Souza Neves³, Renato Veiga Guadagnin⁴

Objetivo: avaliar o desempenho de uma técnica automática para extração de características dos tipos de tecidos de lesões por pressão por processamento de imagens digitais, embutida em um aplicativo móvel (App) para smartphones. **Metodologia:** estudo transversal controlado, realizado em 20 imagens de lesões sacrais e trocantéricas. Aferiu-se a concordância na caracterização tecidual presente no leito das lesões entre o App e um comitê de juízes. **Resultados:** a precisão global do App na identificação de granulação, liquefação e coagulação foi de 75%. Constatou-se independência intraobservador nos desfechos das aferições realizadas pelo aplicativo. **Conclusões:** o App obteve desfechos promissores ao classificar os tipos de tecidos inviáveis e granulação, sendo necessário aprimoramento do desempenho em feridas complexas e de outras etiologias.

Descritores: Lesão por Pressão, Fotografia, Smartphone.

MOBILE IMAGING APP FOR AUTOMATIC CLASSIFICATION OF PRESSURE INJURY TISSUES

Objective: to evaluate the performance of an automated technique for extraction of characteristics of the types of tissues from pressure lesions by digital image processing, inserted in a mobile application (App) for smartphones. **Methodology:** cross-sectional, controlled study of 20 images of sacral and trochanteric lesions. The concordance in the tissue characterization present in the center of the lesions between the App and a committee of judges was checked. **Results:** the overall accuracy of the App in the identification of granulation, liquefaction and coagulation was 75%. Intraobserver independence was observed in the results of the measurements performed by the application. **Conclusions:** the App obtained promising outcomes classifying non-viable tissue types and granulation tissue, and an improvement of the app's performance is necessary in complex wounds and other etiologies.

Descriptors: Pressure Ulcer, Photography, Smartphone.

APLICACIÓN MÓVIL DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES PARA LA CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE LOS TEJIDOS DE LESIÓN POR PRESIÓN

Objetivo: evaluar el rendimiento de una técnica automática para extraer características de los tipos de tejido de las lesiones por presión mediante el procesamiento digital de imágenes, incorporado en una aplicación móvil para smartphone. **Metodología:** estudio transversal controlado hecho en 20 imágenes de lesiones trocantéricas y en la región sacro. Se verificó la concordancia en la caracterización de los tejidos presentes en el lecho de las lesiones entre la aplicación y un comité de jueces. **Resultados:** la precisión general de la aplicación en la identificación de tejidos presentes en el lecho de las LPP (lesiones por presión) fue de 75%. Se comprobó la independencia intraobservadora en los puntos finales de las mediciones realizadas por la aplicación. **Conclusiones:** la aplicación obtuvo resultados promisorios al evaluar los tipos de tejidos no viables y granulación y es necesario perfeccionar el desempeño en heridas complejas y de otras etiologías.

Descritores: Úlcera por Presión, Fotografía, Teléfono Inteligente.

¹Enfermeira. Mestranda do Mestrado Profissional da Escola Superior de Ciências da Saúde (ESCS/FEPECS). E-mail: huarabsb@gmail.com

²Fisioterapeuta. Doutor em Ciências da Saúde. Coordenador do Mestrado Profissional em Ciências para a Saúde da Escola Superior de Ciências da Saúde (ESCS/FEPECS).

³Enfermeiro. Doutor em Ciências da Saúde. Coordenador do Curso de Graduação em Enfermagem da Escola Superior de Ciências da Saúde.

⁴Engenheiro Mecânico. Doutor em Ciências da Administração.

Autor Correspondente: Huara Paiva Castelo Branco. huarabsb@gmail.com

INTRODUÇÃO

As lesões por pressão (LPP) são definidas como danos localizados na pele, que podem comprometer ou não as regiões subjacentes. Originam-se, comumente, sob proeminências ósseas em decorrência da intensa ou prolongada pressão em associação ao cisalhamento e fricção, acarretando em distúrbios no fluxo sanguíneo da área afetada e, portanto, deterioração progressiva⁽¹⁾.

Desenvolvem-se em quatro estágios, onde, primeiramente, a pele, ainda íntegra, assume uma coloração avermelhada que não embranquece. Caso não seja afastada a etiologia, o tecido pode romper, expondo a derme. Em seguida, há a perda do epitélio em sua espessura total, e a hipoderme passa a ser visível. É também possível observar tendões, músculo e estruturas ósseas⁽²⁾.

Uma das etapas essenciais ao planejamento do cuidado é extrair características das lesões como: tamanho, quantidade de exsudato, regiões perilesionais e, especialmente, a composição tecidual do leito das feridas⁽¹⁾. As decisões clínicas do enfermeiro estão diretamente relacionadas à correta identificação das áreas com granulação, esfacelo, necrose de coagulação, epiteliação, osso, tendão e vasos sanguíneos⁽³⁾.

Na prática clínica do Sistema Único de Saúde (SUS), o julgamento dessas variáveis é altamente dependente da expertise profissional, contudo, fundamentá-la na habilidade individual em apreciar visualmente as lesões, tem-se demonstrado subjetivo e impreciso^(4,5).

Nesse contexto, a fim de minimizar as limitações humanas, o rastreamento automatizado dos tecidos por meio de técnicas de processamento digital de imagem, sobretudo as pertinentes à inteligência artificial, tornaram-se um campo ativo de pesquisa em saúde. Assim, o objetivo deste artigo é avaliar o desempenho de uma técnica automática na extração de tipos de tecidos de LPP por processamento de imagens digitais a partir de um aplicativo (App) móvel para smartphones com sistema operacional Android.

MÉTODOS

Tipo de estudo

Trata-se de um estudo transversal controlado com abordagem quantitativa, com a finalidade de testar a utilização da Rede Neural Artificial Self Organizing Maps (SOM), embutida no App desenvolvido para o processamento de imagens e identificação dos tecidos presentes no leito das LPP.

Participantes da pesquisa

Participaram do estudo indivíduos de ambos os

sexos, com idade igual ou superior a 50 anos, com LPP sacral e trocantérica em estágios 2, 3 e 4, e não classificáveis segundo a classificação da National Pressure Ulcer Advisory Panel (NPUAP); que assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e a autorização para utilização de imagens para fins de pesquisa. Foram excluídas as lesões cuja angulação e sombreamento inviabilizam a delimitação da borda no registro fotográfico e indivíduos com capacidade cognitiva diminuída ou comunicação verbal prejudicada sem acompanhante.

Foram convidados 30 enfermeiros por meio de correio eletrônico, escolhidos por conveniência, para compor o comitê de juizes, a partir da análise do Currículo Lattes, que satisfiziam os critérios: experiência clínica no Distrito Federal (DF); doutorado, mestrado na grande área de concentração das ciências da saúde ou especialização em Estomoterapia e Dermatologia; com atuação no ensino de graduação ou pós-graduação em enfermagem.

Os oito enfermeiros que aceitaram participar da pesquisa receberam um arquivo com as lesões e um formulário de apreciação estruturado conforme o Red/Yellow/Black Wound Classification System⁽⁶⁾, no qual Red (vermelho) representa o tecido de granulação, Yellow (amarelo) a necrose de liquefação ou esfacelo e Black (preto) a escara ou necrose de coagulação, sendo acrescentada a coloração Rosa para a representação da epiteliação.

Local do estudo

Estudo realizado em dois hospitais públicos da Secretaria de Estado de Saúde do DF em pacientes internados nas unidades de Clínica Médica, Cirúrgica, Ortopedia, Unidade de Terapia Intensiva e Pronto-Socorro.

Coleta de dados

Na primeira fase, desenvolveu-se um algoritmo de reconhecimento de padrões a partir da rede SOM, com o intuito de caracterizar a ferida com base na cor do tecido representado no leito. Em seguida, foi concebido um App para smartphones, executado em dispositivo Android com versão 6.0.1 (Marshmallow), no ambiente de desenvolvimento integrado Android Studio 3.4, utilizando a linguagem de programação orientada a objetos Java. Para o processamento e documentação, utilizou-se a biblioteca multiplataforma Open Source Computer Vision (OpenCV).

Na segunda fase, obteve-se um banco de imagens

pela câmera traseira do smartphone, Samsung® modelo J5 Prime, com resolução de 13 megapixels. Sua captação deu-se de forma a reproduzir as condições encontradas nos ambientes clínicos, nos meses de novembro de 2018 a janeiro de 2019. Todos os indivíduos hospitalizados no período foram convidados a participar da pesquisa.

Os registros ocorreram durante a assistência rotineira de enfermagem, após a limpeza das lesões, isento de controle de iluminação e flash, sempre pela mesma pessoa e sem referência métrica, com o paciente posicionado de forma confortável, em decúbito favorável à visualização da ferida, o smartphone mantido paralelo ao leito da LPP, a uma distância de 20 a 30 cm da lesão, utilizando-se uma régua para seu controle.

Procedimentos de análise de dados

A análise frequencial das avaliações do comitê de juizes foi considerada padrão-referência para verificar a capacidade do App em identificar a composição tecidual. Consideraram-se equivalentes as aferições cujos reconhecimentos pelo App eram semelhantes aos dos especialistas. Utilizou-se o software Statistical Package for the Social Science (SPSS) versão Windows 20.0 para análise descritiva dos dados, por meio de medidas de frequência.

Procedimentos éticos

Esta pesquisa obteve aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Fundação de Ensino e Pesquisa em Ciências da Saúde do Distrito Federal (CEP/FEPECS), sob o protocolo n.o 2.782.343/2018.

RESULTADOS

Compuseram o banco de imagens 20 fotografias de LPP sacrais (17) e trocântéricas (3) de 14 pacientes internados nas unidades de Clínica Médica (5), Unidade de Terapia Intensiva (4), Ortopedia (3), Clínica Cirúrgica (1) e Pronto-Socorro (1).

Em relação ao comitê de juizes, 75% eram do sexo feminino com média de idade de 48 + 10,28 anos. Quanto à qualificação profissional, 3 possuem titulação máxima de Doutor; 1 Mestrado; 4 especialistas nas áreas de Estomoterapia, Enfermagem Dermatológica e Residência em Enfermagem Cirúrgica. Houve predomínio do tempo de experiência profissional superior a 30 anos (62,5%), com 50% dos participantes atuando menos de 10 anos na docência em enfermagem e 37,5% exercendo o ensino por mais de 10 anos.

Sobre o julgamento dos especialistas em relação à aparência das lesões, foram observadas divergências de classificação de determinadas zonas das feridas. A fim

de se estabelecer a prevalência dos tecidos, realizou-se uma análise frequencial das avaliações, considerando como representativos aqueles identificados por mais de 50% dos participantes. Os resultados estão expressos no Quadro 1.

Quadro 1 - Tecidos presentes no leito das lesões segundo o comitê de especialistas. Brasília-DF, 2019.

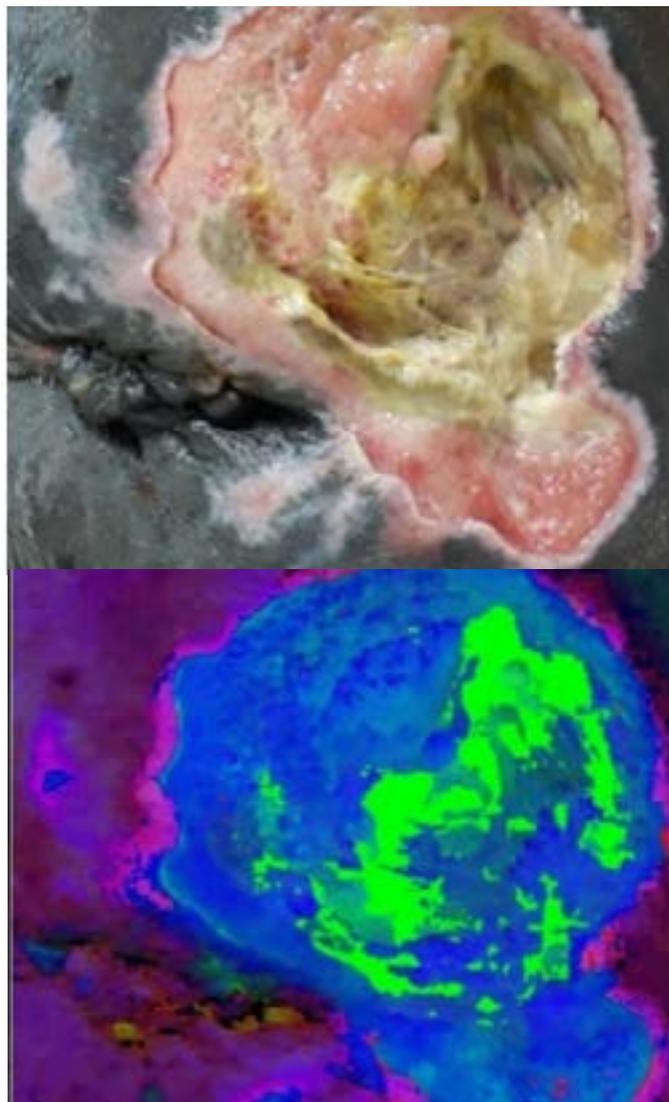
Tecidos presentes no leito da lesão				
Lesões	Granulação	Epitelização	Liquefação	Coagulação
1	Sim	Sim	Sim	
2	Sim	Sim	Sim	Sim
3		Sim	Sim	
4	Sim	Sim	Sim	
5	Sim	Sim	Sim	
6	Sim		Sim	
7	Sim	Sim	Sim	Sim
8	Sim			
9	Sim	Sim	Sim	
10	Sim	Sim	Sim	
11			Sim	
12	Sim		Sim	
13		Sim	Sim	
14	Sim		Sim	
15	Sim		Sim	
16	Sim		Sim	Sim
17		Sim		
18			Sim	
19				Sim
20	Sim		Sim	

Na avaliação dos juizes, prevaleceu a liquefação (90%), seguida por granulação (70%) e epitelização (50%) e a necrose de coagulação foi identificada somente

em 20% das lesões. Em seguida, as 20 fotografias foram submetidas à análise pelo App e os resultados comparados ao dos juízes.

O App desenvolvido apresenta fluxo comum à aquisição da imagem a partir da ativação da câmera traseira do dispositivo ou acesso a diretórios de armazenamento do smartphone para abertura da imagem. Após, automaticamente, são realçados os contrastes da imagem, a fim de reduzir ruídos, sendo esse pré-processamento realizado a partir da transformação aritmética dos valores Red-Green-Blue (RGB), para que o operador Canny detecte as bordas, destacando a área de interesse, ou seja, segmente a imagem. Esse processo está representado na Figura 1.

Figura 1 - Apresentação do mecanismo de detecção automática das bordas da lesão. Brasília-DF, 2019.



Fonte: Pesquisa dos autores.

A extração das características de cor foi realizada no banco de imagens, considerando-se valores mínimos e máximos para cada componente de RGB e Matriz-Saturação-Valor (HSV) das cores a serem detectadas no leito da lesão. Os dados foram, posteriormente, apresentados à inteligência artificial SOM, que os organizou dimensionalmente em grupos. A Figura 2 exemplifica as características visuais dos tecidos a serem detectados pela rede neural.

Figura 2 - Combinação dos diferentes tecidos no leito das lesões. Brasília-DF, 2019.



Fonte: Pesquisa dos autores.

Nesse processo, as 20 imagens de entrada (fotos das feridas), submetidas à técnica desenvolvida, resultaram em uma de saída (ferida segmentada e classificada). Quanto à distribuição de cores e considerando-se a análise frequencial das avaliações realizadas pelos juízes, obteve-se um resultado percentual de concordância de 75%. Ao estratificar os desfechos por tipos de tecidos, o App alcançou concordância na identificação de liquefação de 85% e 75% para granulação e necrose de coagulação.

Com o intuito de verificar a exatidão na delimitação das bordas das lesões, três dos oito especialistas foram consultados para averiguar a concordância da aferição realizada pelo App, resultando em 75% de acordo na definição dos limites da lesão. Quando analisada a repetibilidade intraobservadora, obtiveram-se 100% de acerto nas medições realizadas.

DISCUSSÃO

As LPP podem ocorrer em vários locais do corpo, entretanto, os pontos de contato entre os tecidos moles e o osso são os mais suscetíveis, pois são áreas que sofrem maior exposição a prolongadas pressões, acarretando hipoperfusão local e morte celular. Dentre as regiões anatômicas mais prevalentes estão a sacrococcígea, trocantérica e calcâneos. Acometem, aproximadamente,

9% dos pacientes hospitalizados, com incidências que podem ultrapassar 50%^(7,8). Contudo, os calcêneos são áreas convexas e, eventualmente, apresentam dificuldades nas delimitações de contornos⁽⁹⁾. Por essa razão, essa pesquisa analisou as lesões sacrais e trocântéricas.

Tendo em vista que esta foi a utilização pioneira da rede SOM, aprendizado de máquina não supervisionado para extração de características de LPP, comparou-se os resultados de seu desempenho com a opinião de oito enfermeiros atuantes no cuidado às pessoas com feridas no DF. No que se refere à concordância entre profissionais na identificação dos tecidos, obtiveram-se desfechos similares aos descritos por alguns autores⁽¹⁰⁾, corroborando o quão complexo é a segmentação e caracterização de feridas, em que até os profissionais mais experientes têm opiniões divergentes em relação aos limites da ferida e aos tipos de tecidos envolvidos.

Além disso, quanto maior o número de profissionais consultados, mais difícil é alcançar um consenso, chegando a 59% de discordâncias em lesões complexas e com bordas irregulares, havendo variabilidade significativa na identificação dos tecidos quando o mesmo observador analisa a lesão em momentos distintos. Ocorrem, ainda, situações em que um profissional identifica uma região específica como parte da ferida em uma ocasião e, posteriormente, o mesmo discorda do próprio julgamento⁽¹⁰⁾.

Apesar disso, atingiu-se equivalência nas aferições realizadas pelo App comparadas ao comitê de juizes. Ademais, quando se contrapõem trabalhos publicados na área⁽¹⁰⁻¹⁴⁾, obtêm-se desfechos similares, demonstrando ser uma técnica promissora, especialmente, quando se considera que as condições de luminosidade não foram controladas para aquisição das fotografias e, sobretudo, por ser um processamento de imagem completamente automático e realizado em um smartphone.

O App atingiu precisão global de 75% na identificação dos tecidos presentes no leito das LPP. Foram encontrados resultados similares⁽¹⁰⁾ em uma abordagem para segmentação de imagens, baseada em técnicas de limiarização ideal, combinada a um mapa de probabilidade das cores vermelho-amarelo-preto-branco e calculada por um modelo modificado do espaço de cor HSV, na delimitação do leito da lesão, caracterização e estimativa do percentual tecidual.

Quanto à identificação dos tecidos presentes no leito das lesões, o App encontrou valores próximos aos obtidos na abordagem que considerou o componente Saturação, do espaço de cor HSI, para a limiarização com

divergência fuzzy e o Support Vector Machine, técnica de aprendizagem supervisionada, a fim de classificar a composição das feridas, atingindo precisões teciduais de 86,84%, 78,27% e 78,72% para granulação, liquefação e coagulação, respectivamente⁽¹¹⁾.

Um sistema computacional de classificação tecidual em úlceras diabéticas, que utiliza Fuzzy C-Means e análise de cores por recursos de clusterização rotulados a partir do cálculo da distância euclidiana, demonstrou acurácia na identificação isoladamente de 99,1%, 98,2%, 98,8% e 98,3% para granulação, liquefação, escara e epitelação, respectivamente. Contudo, quando feridas contendo dois ou mais tipos de tecidos diferentes foram testadas, rotularam zonas avermelhadas que faziam parte do tecido de liquefação e áreas de epitelação de aparência mais avermelhada que rosada, como a granulação. Detectaram-se, também, alguns falsos positivos na distinção entre esfacelo e escara, dado que as intensidades médias de cores são bastante estreitas⁽¹⁴⁾.

Ainda que os métodos baseados em aprendizado de máquina supervisionado, geralmente, forneçam melhores resultados globais, são mais difíceis de implementar em dispositivos móveis, no qual o poder computacional é limitado^(12,13). O App desenvolvido alcançou melhores desfechos na identificação de liquefação e coagulação e semelhantes aos descritos na literatura na distinção dos tons rosa e avermelhado.

Todavia, um dos desafios na segmentação de feridas é diferenciar regiões com características similares na matriz de cores: por exemplo, vermelho escuro (granulação) versus preto (coagulação) e vermelho pálido (granulação) e amarelo claro (liquefação), pois, sob o padrão HSV, vermelho escuro e amarelo escuro estão mais próximos do preto; similarmente vermelho claro e amarelo claro estão mais perto do branco⁽¹²⁾.

A distinção entre áreas úmidas, por exemplo, como as granulações recém-formadas e as lesões exsudativas, tornam-se ainda mais complexas, pois, são superfícies que possuem por sua natureza características refletoras de luminosidade, ocasionando equívocos na classificação⁽¹⁴⁾.

Para aferir a variabilidade na identificação dos tecidos, submeteu-se cada imagem a um número de cinco avaliações pelo App, sendo constatadas consistência e uniformidade nos resultados, com 100% das medições idênticas sugerindo que a análise computacional é menos suscetível à subjetividade do operador.

Observou-se a classificação de áreas com presença de hematomas como necrose de coagulação,

havendo a necessidade de adicionar a cor “Roxa” para a rotulagem da inteligência artificial, dado que essas colorações direcionam a condutas específicas. Regiões hiperemiadas em indivíduos caucasianos foram identificadas pelo App como granulação. As lesões com contornos extremamente irregulares obtiveram maiores divergências e, por isso, algumas análises adicionaram pixels referentes ao tecido íntegro presente na pele adjacente à área lesionada.

Limitações do estudo

A partir das comparações entre os juizes e o App, verificou-se a inabilidade do aplicativo em distinguir entre granulação e epiteliação. Além disso, a técnica proposta apresenta algumas limitações na segmentação e caracterização de feridas em peles escuras, especialmente ao tentar identificar os limites entre a necrose de coagulação e a região perilesional. Observou-se, também, que sombreamento e tunelizações, igualmente, foram confundidas com necroses.

Contribuições do estudo para a pesquisa

O processo de desenvolvimento de uma apurada técnica automática de extração de características visuais de LPP, por meio de processamento de imagens digitais em aplicativos, permite auxiliar os profissionais de enfermagem no diagnóstico, acompanhamento e na parametrização dos registros das feridas.

CONCLUSÃO

Com esta pesquisa, apresenta-se uma abordagem de segmentação automática usando aprendizado de máquina não supervisionado. Como a técnica proposta baseia-se na classificação de diferentes tipos de tecidos, permite que estruturas complicadas dentro da imagem sejam reconhecidas. Ao usar o App, obtiveram-se resultados promissores e, futuramente, o sistema permitirá que os enfermeiros avaliem a composição tecidual precisamente, um passo essencial ao diagnóstico e tratamento de LPP.

Mais imagens são necessárias para validar os dados de rotulagem, incluindo lesões de outras etiologias, com presença de osso e tendões. A equipe de pesquisadores permanece aprimorando o conjunto de dados para poder incluir novas classificações.

Agradecimentos

O presente trabalho recebeu apoio da Escola Superior de Ciências da Saúde (ESCS) e o financiamento oferecido pelo convênio CAPES/COFEN.

REFERÊNCIAS

1. Caliri MHL, Santos VLCC, Mandelbaum MHS, Costa IG. Classificação das lesões por pressão: consenso NPUAP 2016 - adaptada culturalmente para o Brasil. Associação Brasileira de Estomaterapia (SOBEST). Associação Brasileira de Enfermagem em Dermatologia (SOBENDE). São Paulo; 2016. [citado 2018 Nov 16]. Disponível em: <http://www.sobest.org.br/textod/35>
2. Moraes JT, Borges EL, Lisboa CR, Cordeiro DCO, Rosa EG, Rocha NA. Conceito e classificação de lesão por pressão: atualização do National Pressure Ulcer Advisory Panel. Rev. enferm. Cent.-Oeste Min. 2016; 6(2): 2292-2306.
DOI: <http://dx.doi.org/10.19175/recom.v6i2.1423>
3. Carvalho MRF, Salomé GM, Ferreira L. Construção e validação de algoritmo para tratamento da lesão. Rev. enferm. UFPE on line. 2017 Out.; 11(supl. 10):4171-4183.
DOI: 10.5205/reuol.10712-95194-3-SM.1110sup201722.
4. Dufrene, C. Photography as an adjunct in pressure ulcer documentation. Crit. Care Nurs Q. 2009; 32(2), 77-80. DOI: 10.1097/CNQ.0b013e3181a27ab3.
5. Santos AD, Santos MB, Barreto AS, Carvalho DS, Alves JAB, Araújo KCGM. Spatial Analysis and Epidemiological Characteristics of Cases of Leprosy in an Endemic Area. Rev. enferm. UFPE on line. 2016 Nov; 10(5): 4188-4197. DOI: 10.5205/reuol.9284-81146-1-SM.1005sup201604.
6. Cuzzell JZ. The new RYB color code. Am. J. Nurs. 1988; 88(10): 1342-1346.
7. Souza NR, Freire DA, Souza MAO, Melo JTS, Santos LV, Bushatsky M. Fatores predisponentes para o desenvolvimento da lesão por pressão em pacientes idosos: uma revisão integrativa. Estima. 2017; 15(4): 229-239. DOI: 10.5327/Z1806-3144201700040007.
8. Otto C, Schumacher B, Wiese LPL, Ferro C, Rodrigues RA. Fatores de risco para o desenvolvimento de lesão por pressão em pacientes críticos. Enferm. Foco 2019; 10(1): 07-11.
9. Gabison A, McGillivray C, Hitzig SL, Nussbaum E. A study of the utility and equivalency of 2 methods of wound measurement: digitized tracing versus digital photography. Adv Skin Wound Care. 2015; 28(6): 252-258. DOI: 10.1097/01.ASW.0000465301.37313.57.
10. Fauzi MFA, Khansa I, Catignani K, Gordillo G, Sen CK, Gurcan MN. Segmentation and Management of Chronic Wound Images: A Computer-Based Approach. IEE J Biomed Health Inform. 2018; 22(4). DOI: https://doi.org/10.1007/15695_2018_131.
11. Mukherjee R, Manohar DD, Das DK, Achar A, Miltra A, Chakraborty C. Automated tissue classification framework for reproducible chronic wound assessment. Biomed Res Int. 2014; Article ID 851582. 9 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/851582>.
12. Nejati H, Ghazijahani HA, Abdollahzadeh M, Malekzadeh T, Cheung N-M, Lee KH et al. Fine-grained wound tissue analysis using deep neural network. 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 1010-1014.
13. Shi RB, Qiu J, Maida V. Towards algorithm-enabled home wound monitoring with smartphone photography: A hue-saturation-value colour space thresholding technique for wound content tracking. Int. Wound J. 2019 Feb; 16(1): 211-218. DOI: 10.1111/iwj.13011.
14. Nizam K, Ahmad Fauzi MF, Ahmad NN, Nair HKR. Characterization of Tissues in Chronic Wound Images. 2018 IEEE Student Conference on Research and Development. 1-5. DOI: 10.1109/SCORED.2018.8710941.