

Reconhecimento automatizado da dor por movimentos faciais de recém-nascidos internados em Unidade de Terapia Intensiva Neonatal

Tatiany Marcondes Heiderich¹, Carlos Eduardo Thomaz¹

¹Laboratório de Processamento de Imagens – FEI
São Bernardo do Campo – SP – Brazil

{tatianyhm}@fei.edu.br

Abstract. *This thesis aimed to develop an automated method for recognizing pain in neonates using state-of-the-art image processing and artificial intelligence techniques. The method segments facial regions and classifies pain-indicative movements. Analyzed in four datasets, the method showed promising results, with the nasolabial furrow deepening movement standing out as the most reliable region for pain diagnosis. A new scoring method for automatic pain assessment was further proposed and demonstrated high reliability. This new approach optimizes traditional methods, providing a more objective and precise neonatal pain assessment in complex clinical scenarios.*

Resumo. *Esta tese teve como objetivo desenvolver um método automatizado para reconhecer a dor em neonatos, utilizando técnicas atuais de processamento de imagens e de Inteligência Artificial. O método segmenta regiões faciais e classifica movimentos indicativos de dor. Analisado em quatro bases de dados, o método apresentou bons resultados, com destaque para o movimento de sulco nasolabial aprofundado, que mostrou ser a região mais confiável para o diagnóstico de dor. Um novo método de pontuação para avaliação automática da dor foi adicionalmente proposto e se mostrou confiável. Esta nova abordagem otimiza os métodos tradicionais, proporcionando uma avaliação mais objetiva e precisa da dor neonatal em cenários clínicos complexos.*

1. Introdução

Recém-nascidos criticamente enfermos, internados em Unidade de Terapia Intensiva Neonatal (UTIN), são submetidos a uma série de procedimentos invasivos, que, embora indispensáveis para a manutenção da vida, estão fortemente associados a episódios de dor [Macedo e Müller 2021]. Para oferecer uma assistência completa e humanizada aos neonatos, e garantir que a dor neonatal seja avaliada e tratada de forma adequada, as UTINs utilizam protocolos de avaliação da dor, que observam sinais não verbais, como expressão facial e postura corporal, e mudanças nos sinais vitais [Guinsburg e Cuenca 2019]. Uma das preferências dos profissionais de saúde é a avaliação da dor pela análise da expressão facial mas quando o neonato faz uso de dispositivos médicos fixados à face, estes profissionais precisam redirecionar sua atenção para áreas descobertas e para sinais fisiológicos e comportamentais [Heiderich et al. 2023].

Para auxiliar os profissionais de saúde a monitorarem e identificarem a necessidade de intervenções terapêuticas diversos métodos computacionais foram desenvolvidos [Brahnam et al. 2020; Buzuti et al. 2020; Carlini et al. 2024; Hoti et al. 2021; Salekin et al. 2021; Silva 2020; Zamzmi et al. 2022]. Existem limitações

significativas que dificultam a implementação eficaz desses métodos, como a dificuldade em detectar pontos correspondentes à área inferior da face; a dificuldade em identificar rostos de neonatos em cenas complexas, em que a iluminação pode ser inadequada; e a incapacidade de detectar rostos que estão parcialmente cobertos por dispositivos médicos, como cânula traqueal. Outros desafios são a escassez de bancos de dados contendo imagens faciais de neonatos e o tamanho limitado dos conjuntos de dados disponíveis, o que restringe o desenvolvimento de modelos generalizáveis. Apesar dos avanços tecnológicos, ainda há uma falta significativa na disponibilidade de ferramentas adequadas para a avaliação automática e precisa da dor neonatal no ambiente hospitalar [Batton et al. 2006; Heiderich et al. 2023].

Estudos recentes demonstram resultados promissores, utilizando aprendizado profundo para avaliar a intensidade da dor pós-operatória com base no reconhecimento de expressões faciais em condições reais [Fontaine et al. 2022; Othman et al. 2021]. A avaliação automatizada da dor em neonatos internados em UTINs, baseada na análise de movimentos faciais, surge como uma abordagem inovadora que pode contribuir significativamente para otimizar o manejo da dor em unidades neonatais.

Neste contexto, o objetivo principal desta tese foi implementar um arcabouço computacional de reconhecimento automatizado da dor, por regiões da face do recém-nascido internado em UTIN, que permanece com dispositivos fixados em sua face. Mais especificamente, foram feitos experimentos para segmentação automática das regiões faciais; classificação das regiões como movimentos indicativos da presença ou ausência de dor; e criação de um método automático de classificação e diagnóstico da dor utilizando exclusivamente as regiões visíveis da face.

2. Materiais e Métodos

Quatro bases de dados foram utilizadas (Tabela 1) para o treinamento, validação e teste do arcabouço computacional proposto. As imagens faciais estavam rotuladas de acordo com o diagnóstico de dor (“face com dor” ou “face sem dor”). As bases de dados UNIFESP-I, SynUnifesp e UNIFESP- II forneciam informações detalhadas sobre os movimentos faciais indicativos de dor, especificando se estavam “presentes” ou “ausentes”. O método foi baseado na análise de quatro regiões faciais (testa, fenda palpebral, sulco nasolabial e boca), para avaliação de cinco movimentos indicativos de dor (Tabela 1). O fluxograma da Figura 1 detalha a sequência de procedimentos para a automação do diagnóstico de dor.

Tabela 1. Bases de Dados

<i>Base de Dados</i>	<i>Número de imagens</i>	<i>Faces com dor</i>	<i>Faces sem dor</i>	<i>Movimentos indicativos de dor</i>				
				BA	BE	FS	FP	SN
UNIFESP-I	360	162	198	212	59	166	161	153
SynUnifesp	356	118	238	114	169	30	174	116
iCOPE&	167	79	88	-	-	-	-	-
UNIFESP-II#	48	16	32*	13	10	18	17	11

Legenda: FS = Fronte Saliente; FP = Fenda palpebral estreitada; SN = Sulco nasolabial aprofundado; BA = Boca aberta; BE = Boca estirada; * = Face sem dor ou não visível; & = Única base de dados com dispositivos médicos fixados à face do recém-nascido; # = Única base com dados sintéticos.

A ferramenta utilizada para a detecção automática da face e identificação de 468 pontos fiduciais foi o modelo "Facemesh" do MediaPipe da Google. Um mosaico facial

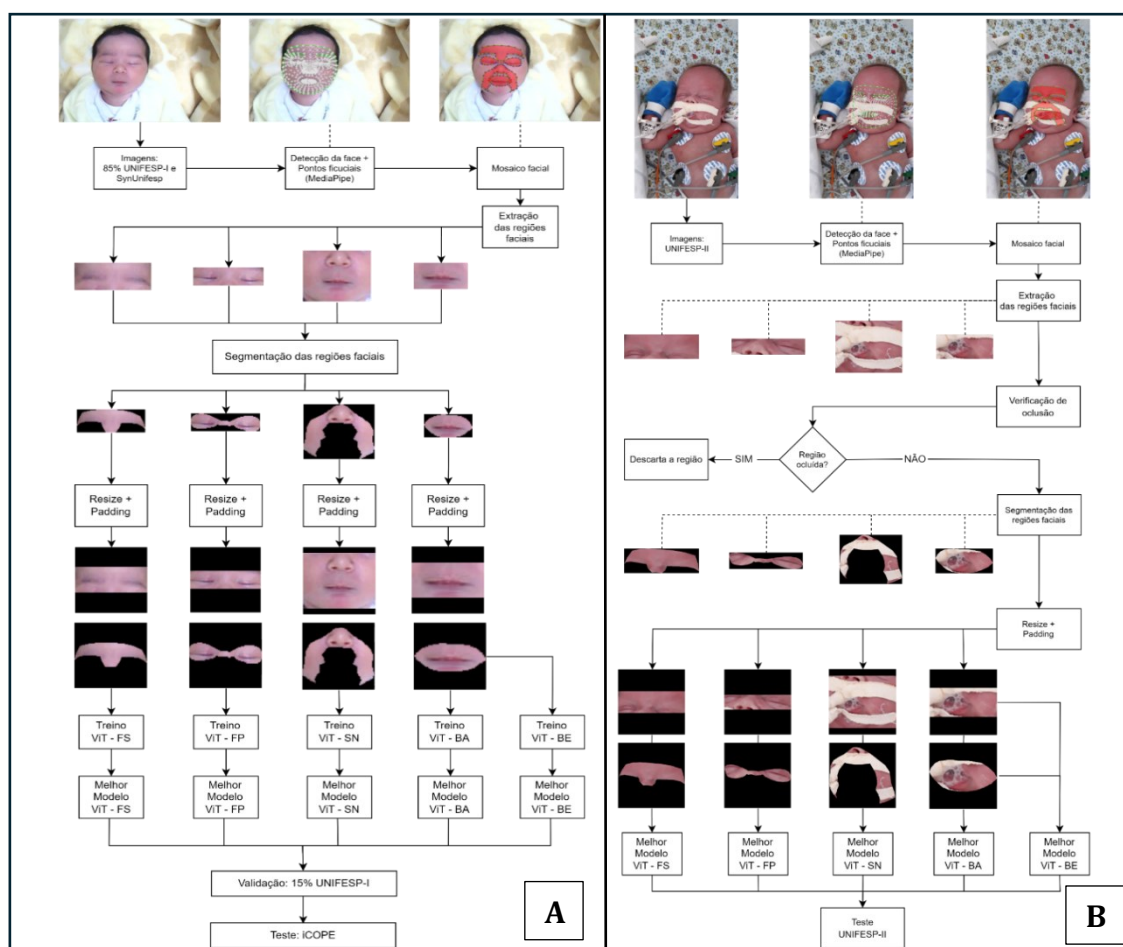


Figura 1. Sequência de procedimentos para a automação do diagnóstico de dor.
A) faces sem oclusão; B) faces com oclusão

gerado para delimitar as quatro regiões de interesse na face do recém-nascido. A extração das regiões faciais foi feita determinando um retângulo de recorte, definido pela menor e maior coordenada X e pela menor e maior coordenada Y. Foi realizado um processo de redimensionamento e preenchimento das imagens. O ViT foi utilizado para classificar a presença ou a ausência dos cinco movimentos faciais indicativos de dor. Para otimização dos hiperparâmetros do modelo usamos a biblioteca Optuna que buscou sempre maximizar o F1 score de validação. Os cálculos e a análise estatística foram realizados utilizando o programa R 4.4.0.

3. Experimentos e Resultados

O modelo foi inicialmente pré-treinado no conjunto de dados ImageNet-21k, e utilizou um modelo disponibilizado pela empresa através da plataforma do *Hugging Face*, garantindo que o ViT possuísse um forte conhecimento base em reconhecimento de padrões visuais antes do *fine-tuning*. Depois do pré-treinamento diferentes combinações foram feitas para verificar qual seria a melhor abordagem do modelo na avaliação das regiões faciais, usando os bancos de dados UNIFESP-I (85%) e SynUnifesp. O algoritmo fez ajustes internos, alterando seus parâmetros para minimizar a função de erro ou perda, buscando melhorar sua capacidade de previsão. Para cada configuração, foram realizadas 30 tentativas de otimização e cada treinamento foi conduzido por 20 épocas.

Após selecionar o melhor modelo para cada movimento facial realizamos uma etapa de validação analisando o que o melhor modelo predisse como classificação versus o rótulo de diagnóstico de cada imagem apresentado no banco de dados UNIFESP-I (15%). Em seguida, realizamos testes de acurácia e concordância entre o que o melhor modelo predisse como classificação e os rótulos fornecidos pelos bancos de dados independentes iCOPE e UNIFESP-II.

O melhor modelo apresentou bons resultados em todas as bases de dados, com destaque para o movimento de sulco nasolabial aprofundado (F1 *score* entre 63 a 87%) que mostrou ser a região mais confiável para o diagnóstico de dor. A boca estirada (F1 *score* entre 69 a 78%) e boca aberta (F1 *score* entre 66 a 77%) apresentaram resultados bons e relativamente similares. Os movimentos de fenda palpebral estreitada (F1 *score* entre 54 a 76%) e fronte saliente (F1 *score* entre 58 a 75%) foram as regiões com o desempenho mais fraco.

3.1. Classificação e diagnóstico da dor por regiões visíveis da face

Esta tese propôs um método automático de classificação e diagnóstico de dor para neonatos internados em UTIN, levando em consideração apenas as áreas visíveis da face.

Diferente do método tradicional, que atribui o mesmo peso (*score*) para cada região facial indicativa de dor, este novo método atribui pesos diferentes para cada região visível da face (Tabela 2). Neste novo método os movimentos de fronte saliente e fenda palpebral estreitada recebem *Score* 1, boca aberta e boca estirada recebem *Score* 2, e o sulco nasolabial aprofundado recebe *Score* 3. A pontuação final deve ser interpretada da seguinte forma: com cinco movimentos visíveis, um *Score* ≥ 4 indica dor; com quatro movimentos visíveis, um *Score* ≥ 3 indica dor; com três movimentos visíveis, um *Score* ≥ 2 indica dor; e com um ou dois movimentos visíveis, um *Score* ≥ 1 indica dor.

Tabela 2 – Novo Método de Classificação e Diagnóstico Automático da Dor

<i>Região</i>	<i>Visível</i>	<i>Movimento</i>	<i>Ausente</i>	<i>Presente</i>
Testa	()	Fronte Saliente	() <i>Score</i> 0	() <i>Score</i> 1
Olhos	()	Fenda Palpebral Estreitada	() <i>Score</i> 0	() <i>Score</i> 1
Boca	()	Boca Aberta	() <i>Score</i> 0	() <i>Score</i> 2
	()	Boca Estirada	() <i>Score</i> 0	() <i>Score</i> 2
Sulco Nasolabial	()	Sulco Nasolabial Aprofundado	() <i>Score</i> 0	() <i>Score</i> 3

Legenda: *Score*: 5 movimentos visíveis = *Score* ≥ 4 indica dor; 4 movimentos visíveis = *Score* ≥ 3 indica dor; 3 movimentos visíveis = *Score* ≥ 2 indica dor; 1 ou 2 movimentos visíveis = *Score* ≥ 1 indica dor.

Este novo método atribui um peso maior (3) ao movimento de sulco nasolabial aprofundado devido à sua alta confiabilidade no diagnóstico da dor. Já os movimentos de boca aberta e boca estirada recebem peso 2, pois, embora sejam indicadores importantes de dor, não são tão consistentes quanto o sulco nasolabial aprofundado. Os movimentos de fenda palpebral estreitada e fronte saliente recebem peso 1, devido ao seu desempenho inferior, mas ainda são relevantes para o diagnóstico quando visíveis.

Utilizando o arcabouço computacional proposto, foram realizados testes de classificação e diagnóstico da dor com imagens de três bancos de dados reais incluídos nesta pesquisa, comparando o desempenho dos melhores modelos usando o *Score* tradicional e o novo método de *Score* proposto (Tabela 4).

Tabela 4 – Diagnóstico da Dor pelo arcabouço com Score tradicional e método proposto

<i>Métrica</i>	<i>UNIFESP-I Tradicional</i>	<i>UNIFESP-I Novo Método</i>	<i>UNIFESP-II- Tradicional</i>	<i>UNIFESP-II- Novo Método</i>	<i>iCOPE Tradicional</i>	<i>iCOPE Novo Método</i>
Acurácia	90.28%	90.28%	79.17%	79.17%	71.63%	70.21%
Sensibilidade	88.24%	92.81%	68.42%	73.68%	98.36%	98.36%
Especificidade	91.79%	88.41%	86.21%	82.76%	51.25%	48.75%
Taxa Falsos Positivos	8.21%	11.59%	13.79%	17.24%	48.75%	51.25%
Taxa Falsos Negativos	11.76%	7.19%	31.58%	26.32%	1.64%	1.64%
F1 <i>score</i>	88.52%	89.03%	72.22%	73.68%	75.00%	74.07%
Kappa de Cohen	0.801	0.803	0.556	0.564	0.462	0.437

Nos bancos de dados UNIFESP-I e UNIFESP-II os melhores modelos tiveram desempenho semelhante. A acurácia permaneceu a mesma, mas no novo método o F1 *score* foi mais elevado, demonstrando uma maior capacidade em detectar a presença de dor. Para o banco de dados iCOPE o novo método apresentou resultados bastante semelhantes ao método tradicional, com uma ligeira queda na acurácia e na especificidade. A sensibilidade se manteve igual, sugerindo que ambos os métodos são igualmente eficazes na detecção de dor. No geral, o novo método apresentou bom desempenho, com redução nas taxas de falsos negativos e aumento da sensibilidade, o que é essencial para a detecção precisa da dor. Embora tenha havido um leve aumento nos falsos positivos, isso se deve ao fato de que o modelo tende a classificar como “com dor” imagens em que os sinais faciais não são claramente definidos. Na prática clínica, esse comportamento é desejável, pois induz o profissional a observar o neonato por um período maior, permitindo uma avaliação cuidadosa e precisa quanto à presença de dor.

O novo método de classificação demonstrou ser eficiente e confiável, não substituindo o método tradicional, mas otimizando a avaliação, especialmente em neonatos com dispositivos médicos fixados à face. Em um ambiente clínico, esses recém-nascidos, cuja face está parcialmente coberta, muitas vezes não seriam incluídos na avaliação da dor por profissionais de saúde devido à impossibilidade de análise completa da expressão facial. Com o método de segmentação facial desenvolvido para reconhecimento automatizado da dor por regiões específicas da face e a aplicação do *Score* tradicional ou do novo método de *Score* proposto, torna-se possível avaliar automaticamente esses neonatos, garantindo uma abordagem mais abrangente e eficaz, mesmo em cenários clínicos complexos.

4. Conclusão

Esta tese apresentou um método automatizado para reconhecimento da dor em recém-nascidos internados em UTIN. Os resultados indicam que regiões faciais específicas, como o sulco nasolabial aprofundado e a boca aberta, desempenham papéis críticos no diagnóstico de dor neonatal. A proposta de um novo método de avaliação automática da dor permitiu desenvolver uma classificação sensível o suficiente para detectar a dor quando as regiões mais relevantes estão disponíveis, além de manter uma especificidade robusta para evitar diagnósticos equivocados baseados em movimentos menos confiáveis. Esta pesquisa representou um avanço significativo no campo da avaliação automatizada de dor neonatal, propondo um arcabouço inovador de segmentação da face e um novo método automático de classificação e diagnóstico da dor, que combina acurácia, precisão e aplicabilidade clínica, com o potencial de transformar o diagnóstico da dor em UTIN.

Agradecemos à CAPES e ao Centro Universitário FEI pelo apoio financeiro.

Referências

- Batton, D., Barrington, K. and Wallman, C. (2006) “Prevention and Management of Pain in the Neonate: An Update” *Pediatrics*, v. 118, n. 5, p. 2231–2241.
- Brahnam, S., Nanni, L., McMurtrey, S., et al. (2020) “Neonatal pain detection in videos using the iCOPEvid dataset and an ensemble of descriptors extracted from Gaussian of Local Descriptors” *Applied Computing and Informatics*, p. 1–22.
- Buzuti, L., Heideirich, T., Barros, M., Guinsburg, R. and Thomaz, C. (2020) “Neonatal Pain Assessment From Facial Expression Using Deep Neural Networks” In *Anais do XVI Workshop de Visão Computacional (WVC 2020)*. Sociedade Brasileira de Computação - SBC. <https://sol.sbc.org.br/index.php/wvc/article/view/13486>.
- Carlini, L. P., Coutrin, G. de A. S., Ferreira, L. A., et al. (2024) “Human vs machine towards neonatal pain assessment: A comprehensive analysis of the facial features extracted by health professionals, parents, and convolutional neural networks” *Artificial Intelligence in Medicine*, v. 147, p. 102724.
- Fontaine, D., Vielzeuf, V., Genestier, P., et al. (2022) “Artificial intelligence to evaluate postoperative pain based on facial expression recognition” *European Journal of Pain*, v. 26, n. 6, p. 1282–1291.
- Guinsburg, R. e Cuenca A, M. C. C. (2019) “A linguagem da dor no recém-nascido” *Documento Científico do Departamento de Neonatologia Sociedade Brasileira de Pediatria*, v. 3, n. 9, p. 19–24.
- Heiderich, T. M., Carlini, L. P., Buzuti, L. F., et al. (2023) “Face-based automatic pain assessment: challenges and perspectives in neonatal intensive care units” *Jornal de Pediatria*, v. 99, n. 6, p. 546–560.
- Hoti, K., Chivers, P. T. and Hughes, J. D. (2021) “Assessing procedural pain in infants: a feasibility study evaluating a point-of-care mobile solution based on automated facial analysis” *The Lancet Digital Health*, v. 3, n. 10, p. e623–e634.
- Macedo, J. S. e Müller, A. B. (2021) “Dor e medidas não-farmacológicas em prematuros hospitalizados” *Revista Saúde - UNG-Ser*, v. 15, n. 1/2, p. 23.
- Othman, E., Werner, P., Saxen, F., et al. (2021) “Automatic vs. Human Recognition of Pain Intensity from Facial Expression on the X-ITE Pain Database” *Sensors*, v. 21, n. 9, p. 3273.
- Salekin, M. S., Mouton, P. R., Zamzmi, G., et al. (2021) “Future roles of artificial intelligence in early pain management of newborns” *Paediatric and Neonatal Pain*, v. 3, n. 3, p. 134–145.
- Silva, P. A. S. O. (2020) “Interpretação e reconhecimento de padrões para avaliação de dor em imagens faciais de recém-nascidos” Dissertação de Mestrado, Engenharia Elétrica, Centro Universitário FEI.
- Zamzmi, G., Pai, C.-Y., Goldgof, D., et al. (2022) “A Comprehensive and Context-Sensitive Neonatal Pain Assessment Using Computer Vision” *IEEE Transactions on Affective Computing*, v. 13, n. 1, p. 28–45.