

# Reconhecimento Facial em Nuvens de Pontos: Uma Revisão Sistemática

Artur Rodrigues Rocha Neto, José Marques Soares

**Resumo**—Reconhecimento Facial 3D (RF3D) tem se tornado uma tendência de pesquisa tanto na indústria como na academia, principalmente influenciado por não sofrer das limitações impostas pelas clássicas imagens 2D, como invariância à iluminação e pose. As nuvens de pontos são a estrutura de dados base do RF3D. O uso conjunto das informações bidimensionais e tridimensionais foi bastante explorado nos primeiros trabalhos desse domínio. Entretanto, a dificuldade de associar a informação 2D devido ao custo adicional já alto dos equipamentos de aquisição 3D influenciou a busca por métodos e técnicas que usam apenas informações de profundidade para alcançar bons resultados de reconhecimento. A produção de estudos nesse domínio específico incentiva a sumarização desses conhecimentos. Este trabalho propõe essa sumarização na forma de uma revisão sistemática que aborda estudos de RF3D que fazem uso apenas das informações tridimensionais (nuvens de pontos e seus derivados).

**Index Terms**—reconhecimento facial 3D, nuvens de pontos, imagens de profundidade, revisão sistemática

## 1 INTRODUÇÃO

POR se tratar de um método de reconhecimento biométrico não-intrusivo (i.e., sem necessidade do contato com o sensor), o reconhecimento facial tem se tornado a técnica para diversas aplicações, como segurança, entretenimento e vigilância. O uso de imagens 2D foi o primeiro passo nessa área, mas logo percebeu-se certas limitações naturais das mesmas para que pudessem ser apreciadas nas mais diversas aplicações.

O uso de estruturas tridimensionais ganhou apelo por sua robustez a diversas condições de aquisição, principalmente iluminação e pose. Seu uso foi amplamente abordado de diversas formas, como reconhecimento de indivíduos, reconhecimento de expressões faciais, classificação de etnia e gênero e detecção de oclusões. As nuvens de pontos são as estruturas primárias da aquisição 3D, e delas podemos extrair outras como malhas triangularizadas e imagens de profundidade. Este trabalho trata do reconhecimento facial 3D, ou apenas RF3D.

Entretanto, um desafio adicional ao RF3D é o uso único das informações tridimensionais, também chamadas de informações geométricas, em contra-ponto a métodos conjuntos com informações 2D, ou de textura. Muito se avançou nessa área e a quantidade de conhecimento produzido incentiva a sumarização de técnicas de RF3D extrinsecas a informações geométricas. Este trabalho propõe uma revisão sistemática da literatura nesse domínio.

Este artigo se organiza da maneira descrita a seguir. Na Seção 2, descrevemos o que consiste uma revisão sistemática, seus elementos e as escolhas feitas para este trabalho. Na Seção 3, as questões de pesquisa são respondidas a partir da análise exploratória dos dados extraídos dos estudos selecionados. Por fim, concluímos o trabalho na Seção 4 com uma breve discussão.

## 2 REVISÃO SISTEMÁTICA

Uma revisão sistemática é uma metodologia de pesquisa que seleciona, avalia e discute evidências e artefatos encon-

trados na literatura de um dado domínio do conhecimento afim de responder questões de pesquisa [1]. Um protocolo de revisão é definido previamente e serve de guia para o desenvolvimento da revisão. O objetivo do protocolo é tornar a revisão sistemática facilmente reproduzível e seus resultados, analisáveis. Este trabalho é uma revisão sistemática da literatura na área de reconhecimento facial 3D usando nuvens de pontos. As próximas seções abordam mais detalhadamente o protocolo construído e executado.

### 2.1 Informações Gerais

Listamos abaixo as informações gerais desta revisão sistemática:

- **Título:** Reconhecimento Facial em Nuvens de Pontos: Uma Revisão Sistemática
- **Pesquisadores:** Artur Rodrigues Rocha Neto, José Marques Soares
- **Descrição do Problema:** Nuvens de pontos são estruturas de dados que armazenam informações espaciais em 3 dimensões e representam uma alternativa robusta às imagens bidimensionais em diversas aplicações, como por exemplo reconhecimento facial. O aumento na popularidade do uso de nuvens de pontos para reconhecimento facial faz necessária uma síntese da sua produção científica afim de esclarecer questões de pesquisa pertinentes.
- **Objetivo:** Compilar os métodos, artefatos, experimentos e resultados da literatura recente (2015-presente) no campo do reconhecimento facial 3D usando nuvens de pontos explorando informações de origem geométrica.

### 2.2 Questões de Pesquisa

Para esta revisão, foram formuladas cinco questões de pesquisa:

- **QP1.** Quais bases de dados são mais utilizadas?
- **QP2.** Como se dá o pré-processamento das nuvens?

- QP3. Quais atributos são mais utilizados para representação?
- QP4. Quais são os keypoints mais extraídos?
- QP5. Quais experimentos são usados para medir a qualidade das técnicas?
- QP6. Quais modelos de predição são normalmente escolhidos?

## 2.3 Identificação dos Estudos

Fazem parte do processo de identificação dos estudos: definição de artigos de controle [2], [3], [4], levantamento de palavras-chave e seus sinônimos, criação de *strings* de busca, elencamento das fontes de busca e estratégias de busca.

Tabela 1  
Palavras-chave e sinônimos formadores das *strings* de busca

<i>Point cloud</i>	3d face*, 3-d face*, three-dimensional image*, three dimensional image*, 3d image*, 3-d image*
<i>Face</i>	facial, person, individual
<i>Recognition</i>	identification, classification

Uma *string* de busca genérica foi montada para facilitar a elaboração das *strings* de busca específicas por fontes de busca:

**String genérica:** ("point cloud"OR "three-dimensional image"OR "three dimensional image"OR "three-dimensional images"OR "three dimensional images"OR "3d image"OR "3d images"OR "3-d image"OR "3-d images"OR "3d faces"OR "3-d faces") AND ("facial"OR "person"OR "individual") AND ("recognition"OR "identification"OR "classification")

As fontes de busca foram escolhidas por serem de amplo uso na comunidade científica, especialmente no domínio de reconhecimento de padrões e visão computacional, e por serem assinadas como parceiras da CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, tornando livre o seus acessos. Foram elas: **IEEE Xplore Digital Library**, **ACM Digital Library**, **Scopus** e **Web of Science**.

A estratégia de busca se deu em duas partes:

- 1) Definição das *strings* de busca específicas por fonte de busca com base nas palavras-chave e seus sinônimos
- 2) Aplicação das *strings* de busca nas fontes escolhidas

As *strings* de busca para cada fonte passaram por um processo de refinamento iterativo com suporte das ferramentas peculiares de filtragem que cada fonte dispõe. As *strings* finais usadas para a primeira aquisição de trabalhos foram:

**IEEE Xplore Digital Library:** ("point cloud"OR "three-dimensional image"OR "three dimensional image"OR "three-dimensional images"OR "three dimensional images"OR "3d image"OR "3d images"OR "3-d image"OR "3-d images"OR "3d faces"OR "3-d faces") AND ("facial"OR "person"OR "individual") AND ("recognition"OR "identification"OR "classification") Filters Applied: face recognition; feature extraction; learning (artificial intelligence); stereo image processing; image matching; image representation; image segmentation; computer graphics; 2015 - 2019

**ACM Digital Library:** ("point cloud"OR "three-dimensional image"OR "three dimensional image"OR "three-dimensional images"OR "three dimensional images"OR "3d image"OR "3d images"OR "3-d image"OR "3-d images"OR "3d faces"OR "3-d faces") AND ("facial"OR "person"OR "individual") AND ("recognition"OR "identification"OR "classification")

**Scopus:** TITLE-ABS-KEY ( ( "point cloud"OR "3d image"OR "3d images"OR "3-d image"OR "3-d images"OR "3d faces"OR "3-d faces") AND ( "face"OR "facial"OR "person"OR "individual") AND ( "recognition"OR "identification"OR "classification") ) AND PUBYEAR > 2014 AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE , "English") ) AND ( LIMIT-TO ( EXACTKEYWORD , "3D Face Recognition") )

**Web of Science:** (("point cloud"OR "three-dimensional image"OR "three dimensional image"OR "three-dimensional images"OR "three dimensional images"OR "3d image"OR "3d images"OR "3-d image"OR "3-d images"OR "3d faces"OR "3-d faces") AND ("facial"OR "person"OR "individual") AND ("recognition"OR "identification"OR "classification")) Timespan: 2015-2019. Indexes: SCI-EXPANDED, CPCI-S, ESCI.

## 2.4 Seleção e Avaliação de Estudos

A seleção dos estudos de interesse é dada a partir de uma filtragem por critérios de inclusão e exclusão. São eles que, a cada etapa de seleção, indicam se um trabalho passará para a próxima etapa ou não.

Critérios de inclusão:

- I1. Estudo apresenta técnica ou método de reconhecimento facial usando nuvens de pontos
- I2. Estudo propõe uma aplicação ou sistema que faz uso de técnicas ou métodos de reconhecimento facial usando nuvens de pontos

Critérios de exclusão:

- E1. Texto do estudo não está disponível na íntegra
- E2. Texto do estudo não está disponível em inglês ou português
- E3. Estudo não cita a base de dados usada nos experimentos de classificação
- E4. Estudo fora do intervalo de tempo escolhido (janeiro de 2015, março de 2019)
- E5. Estudo faz uso de descritores oriundos de informação 2D
- E6. Estudo duplicado ou evolução de artigo entre conferência e periódico
- E7. Estudo trata do reconhecimento de expressões faciais/emoções e não de indivíduos independente da expressão
- E8. Estudo é do tipo descrição de um curso, nota de aula, patente, editorial, resumo de palestra, tutorial, survey, review, tese ou dissertação
- E9. Estudo não apresenta os critérios de inclusão 1 e 2
- E10. Estudo apresenta técnica, método, sistema ou aplicação de reconhecimento facial 4D
- E11. Estudo apresenta técnica, método, sistema ou aplicação de anti-spoofing 3D

O processo de revisão foi dividido em 4 etapas de análise as quais usam como referência os critérios de inclusão e exclusão:

- **ETAPA DE ANÁLISE 1:** Remoção de duplicados, seleção com base na leitura de título, resumo e palavras-chave
- **ETAPA DE ANÁLISE 2:** Remoção de artigos atualizados entre conferências e periódicos e filtragem de textos disponíveis
- **ETAPA DE ANÁLISE 3:** Seleção com base na leitura de introdução, resultados e conclusão
- **ETAPA DE ANÁLISE 4:** Leitura completa dos trabalhos e aplicação do formulário de extração de dados

## 2.5 Sumarização e Apresentação dos Resultados

Os trabalhos retornados e filtrados a cada etapa foram organizados com o auxílio da ferramenta gerenciadora de artigos Mendeley<sup>1</sup>. Os dados extraídos na Etapa de Análise 4 foram agrupados em formato de tabela usando LibreOffice Calc<sup>2</sup>.

Os dados considerados importantes para extração formam o formulário de extração de dados, que representa a coleta de evidências e artefatos usados para responder as questões de pesquisa. A estrutura de extração adotada neste trabalho está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2  
Elementos do formulário de extração de dados

<b>Metadados</b>	Título, autores, ano, DOI, fonte de busca, tipo de trabalho, local de publicação
<b>Artefatos</b>	Base de dados, etapas de pré-processamento, atributos, modelos preditivos, keypoint usados, experimentos de validação
<b>Resultados</b>	Tipo de abordagem, taxas de reconhecimento

A síntese dos resultados foi feita com a exposição de gráficos e tabelas. Este artigo se propõe a ajudar todos aqueles que pesquisam ou se interessam pelo domínio do reconhecimento facial 3D, portanto escolheu-se sua publicação em veículo de acesso livre.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Seleção de Estudos

Na etapa de identificação dos estudos, as *strings* de busca foram aplicadas às respectivas fontes de busca, simultaneamente no dia 01 de maio de 2019. Um total de 379 artigos foram retornados. A Etapa de Análise 1 removeu 309 trabalhos, restando 77. Destes, a Etapa de Análise 2 removeu outros 13 (7 textos não disponíveis, 2 evoluções de conferência a periódico e 4 textos escritos em chinês). A Etapa de Análise 3 filtrou outros 4 trabalhos que se enquadravam em critérios de exclusão incapazes de serem associados apenas na leitura de título, resumo e palavras-chave. Portanto, para a Etapa de Análise 4 (aplicação do formulário de extração de dados), restaram 60 artigos relevantes para a aplicação desta revisão sistemática (Figura 1).

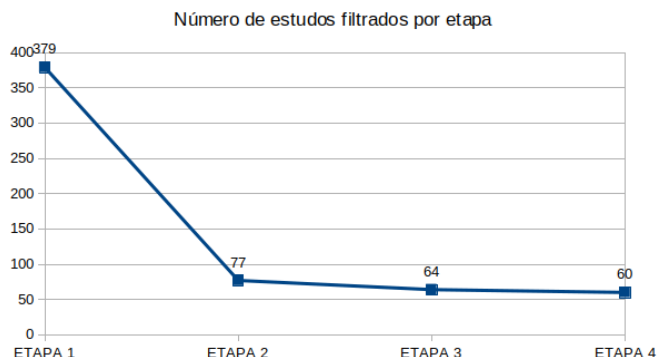


Figura 1. Quantidade de estudos analisados por etapa de análise

### 3.2 Análise Exploratória de Metadados

É comum que um artigo seja retornado em mais de um fonte de busca. Mesmo sendo possível uma definição única de a qual fonte pertence cada trabalho, optou-se por explorar a influência de cada fonte no conjunto final de artigos. Dado o número de ocorrências individuais e o total de ocorrências de cada fonte, podemos mostrar a influência percentual das mesmas em um gráfico como o da Figura 2.

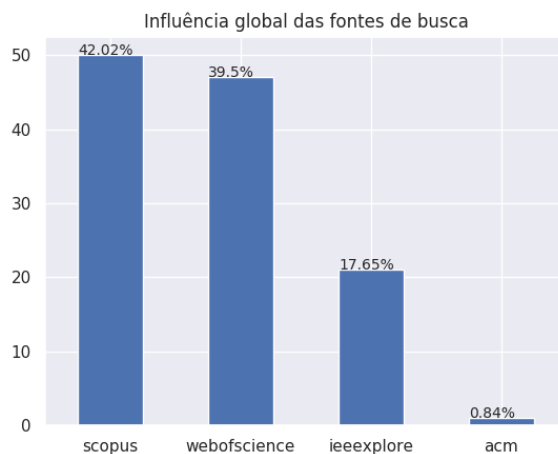


Figura 2. Impacto das fontes de busca fora a remoção de duplicados

A Figura 3 mostra um aumento na quantidade de trabalhos em 2018 após período de estabilidade nos dois anos anteriores. Se a tendência de publicações do primeiro trimestre de 2019 permanecer nos seguintes, teremos uma quantidade de novos trabalhos a par com 2015, mostrando apelo crescente pela área.

Por fim, podemos relacionar a quantidade de trabalhos por tipo de publicação: periódicos ou conferências (Figura 4). Podemos destacar os veículos alguns veículos como os maior impacto em RF3D. O periódico com mais ocorrência de trabalhos foi a *Lecture Notes in Computer Science*, com 5 trabalhos. A conferência que mais contribuiu com artigos foi a *International Conference on Image Processing*.

1. <https://www.mendeley.com/>

2. <https://www.libreoffice.org/>



Figura 3. Valores de 2019 referentes até o mês de março



Figura 4. Distribuição por tipo de veículo

Quanto à natureza dos estudos segundo os critérios de inclusão *I1* e *I2* (técnica/método ou aplicação), apenas 1 estudo apresentou uma aplicação: a síntese em FPGA de métodos de classificação baseado em álgebra Riemanniana [5].

### 3.3 Questões de Pesquisa

Com base nos dados levantados, esta seção sintetiza os achados e suas implicações nas questões de pesquisa propostas na Seção 2.2. **Observação:** os resultados de sumarização correspondem a 26 dos 60 trabalhos selecionados.

#### 3.3.1 Quais bases de dados são mais utilizadas?

Um total de 17 diferentes bases de dados públicas e 1 privada foram catalogadas. A mais utilizada, ocorrendo em 13 trabalhos, foi a FRGC v2.0 [6], seguida pela Bosphorus [7] em 11 e a GavabDB [8] em 8. Detalhes sobre as bases públicas estão colocados na Tabela 3.

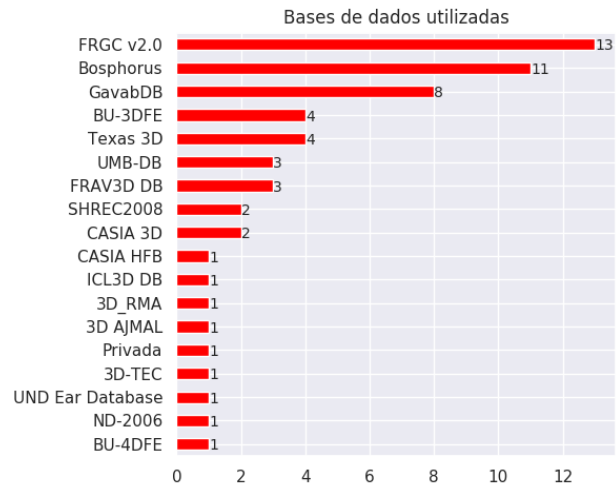


Figura 5. Distribuição das bases de dados utilizadas nos trabalhos sumarizados

#### 3.3.2 Como se dá o pré-processamento das nuvens?

A etapa de pré-processamento é um passo importante para normalização dos dados antes da aplicação dos métodos de reconhecimento. No caso do RF3D, algumas tarefas já são consideradas canônicas. A Figura 6 mostra a frequência dos pré-processamentos utilizados nos estudos sumarizados. O corte de uma região de interesse ao redor do nariz é o passo mais comum, presente em 9 estudos. Depois, o filtro da mediana para suavização empata com a quantidade de trabalhos que reportam não fazer pré-processamento algum, com 6.

Muitos trabalhos não dão detalhes sobre como efetuam certos pré-processamentos. Podemos ver ainda na Figura 6 que algumas tarefas estão descritas em termos genéricos, como "remoção de outliers", "smoothing" e "correção de pose". Esses deslizos diminuem a capacidade de reprodução de muitos trabalhos.

Em linhas gerais, podemos sintetizar os passos de pré-processamentos gerais mais comuns como: definição da região de interesse, suavização, remoção de outliers e ajuste de pose/alinhamento.

#### 3.3.3 Quais atributos são mais utilizados para representação?

O número de atributos distintos catalogados nos estudos selecionados mostra uma variabilidade na natureza das técnicas. Entretanto, podemos notar, como mostra a Figura 7, que existe uma tendência à utilização de curvas isogeodésicas para extração de características. Curvaturas e coeficientes wavelet extraídos de imagens de profundidade apresentam uma frequência significativa.

Assim como foi discutido na Seção 3.3.2, é comum a falta de detalhes na definição também dos atributos. É correto afirmar que essa informação tem caráter mais sensível que as de pré-processamento, outro ponto que dificulta a reprodutibilidade dos estudos.

Tabela 3  
Detalhes de cada base de dados catalogada

Nome	Classes	Amostras	Expressões	Rotações	Oclusões	Scanner	Estudos
FRGC v2.0 [6]	466	4007	Sim	Sim	Não	Laser	[9], [10], [11], [12], [13], [14], [4], [15], [16], [17], [18], [19], [20]
Bosphorus [7]	105	4666	Sim	Sim	Sim	Stereo	[21], [22], [13], [14], [4], [15], [18], [23], [19], [24], [20]
GavabDB [8]	61	488	Sim	Sim	Não	Laser	[10], [22], [13], [5], [18], [25], [19], [24]
BU-3DFE [26]	100	2500	Sim	Não	Não	Stereo	[13], [14], [4], [19]
Texas 3D [27]	118	1149	Sim	Não	Não	Stereo	[28], [23], [19], [20]
UMB-DB [29]	143	1473	Sim	Não	Sim	Laser	[13], [18], [19]
FRAV3D DB [30]	51	714	Sim	Sim	Não	Laser	[31], [28], [24]
CASIA 3D [32]	123	4674	Sim	Sim	Não	Laser	[19], [33]
SHREC2008 [34]	61	427	Sim	Não	Não	Stereo	[13], [35]
3D AJMAL [36]	106	4347	Sim	Sim	Não	Laser	[37]
UND Ear Database [38]	NaN	NaN	Não	Sim	Não	Laser	[15]
CASIA HFB [39]	100	992	Sim	Sim	Não	Laser	[40]
BU-4DFE [41]	101	3030	Sim	Não	Não	Stereo	[19]
ND-2006 [42]	422	9443	Sim	Sim	Não	Laser	[19]
3D-RMA [43]	120	360	Não	Sim	Não	Laser	[40]
3D-TEC [44]	214	428	Sim	Não	Não	Laser	[19]
ICL3D DB [45]	60	240	Sim	Sim	Não	Stereo	[46]

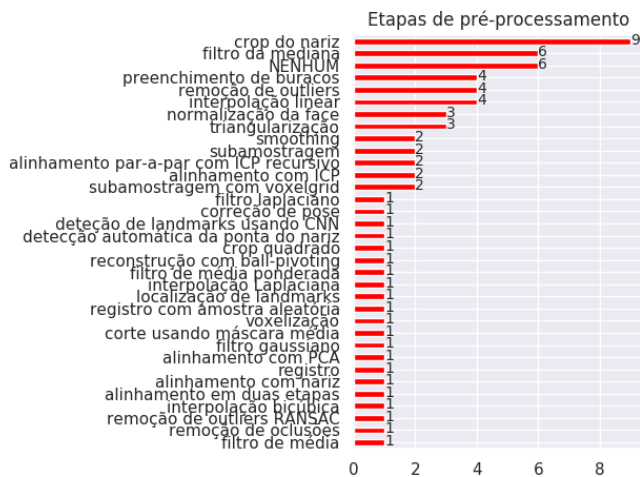


Figura 6. NENHUM significa que não faz pré-processamento ou não reporta

### 3.3.4 Quais são os keypoint/keypoints mais extraídos?

A escolha de keypoint para extração de atributos ou para pré-processamento configura um passo importante no RF3D. Como mostrado na Seção 3.3.2, o corte de uma região de interesse ao redor da ponta do nariz é a tarefa mais utilizada. Logo, é fácil concluir que a ponta do nariz é o ponto de interesse mais usado nas técnicas. De fato, a Figura 8 mostra que 19 trabalhos usam a ponta do nariz de uma maneira ou de outra. 7 estudos dizem não usar keypoint ou não reporta seu uso.

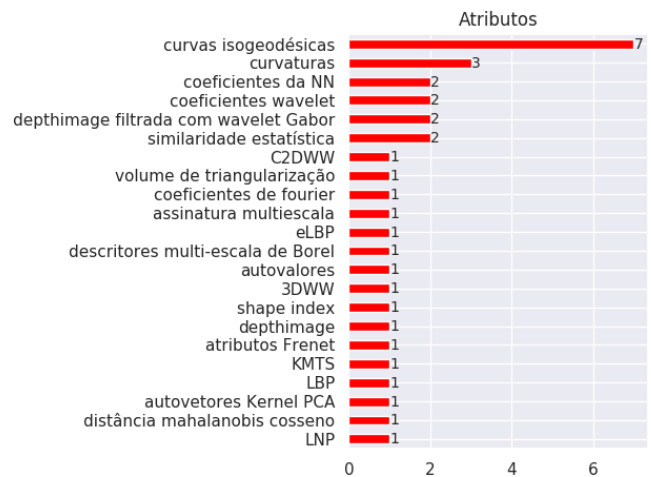


Figura 7. Atributos catalogados

### 3.3.5 Quais experimentos são usados para medir a qualidade das técnicas?

A Tabela 4 descreve os experimentos encontrados nos estudos selecionados. Uma visão quantitativa aparece na Figura 9. Todos os estudos sumarizados abordam identificação.

Por conta da heterogeneidade das formas de apresentação da taxas de acerto, a formatação dos resultados senão a simples reprodução das tabelas e gráficos fica comprometida. Vamos nos ater a discutir os cenários do problema de classificação abordados (Tabela 4).

Tabela 4  
Detalhes sobre os experimentos adotados

Experimento	Descrição	Trabalhos
Identificação	Tenta reconhecer uma face desconhecida dentre o conjunto de classe possíveis	[9], [10], [31], [11], [12], [40], [21], [22], [28], [37], [13], [14], [4], [15], [16], [17], [5], [18], [25], [35], [23], [19], [33], [46], [24], [20]
Verificação	Também conhecido como autenticação, tenta validar uma face sabendo <i>a priori</i> a quem ela pertence	[12], [13], [14], [4], [18], [23], [20]
Classificação de etnia	Reconhecimento da etnia pertence a amostra de face	[20]
Classificação de gênero	Tenta reconhecer o gênero do indivíduo a partir da amostra de face	[20]

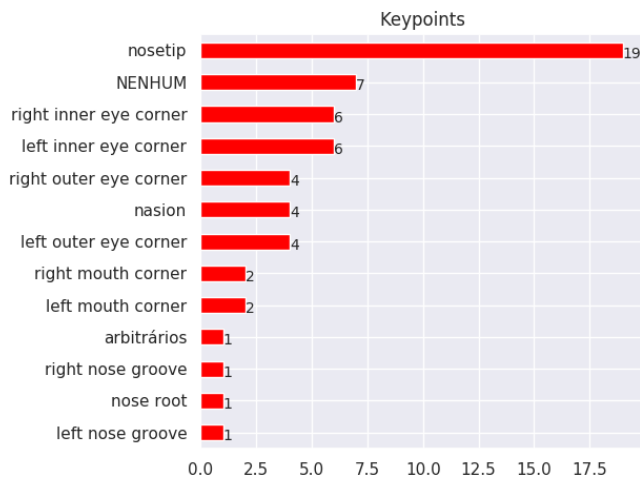


Figura 8. NENHUM significa que não faz uso de keypoint ou não reporta

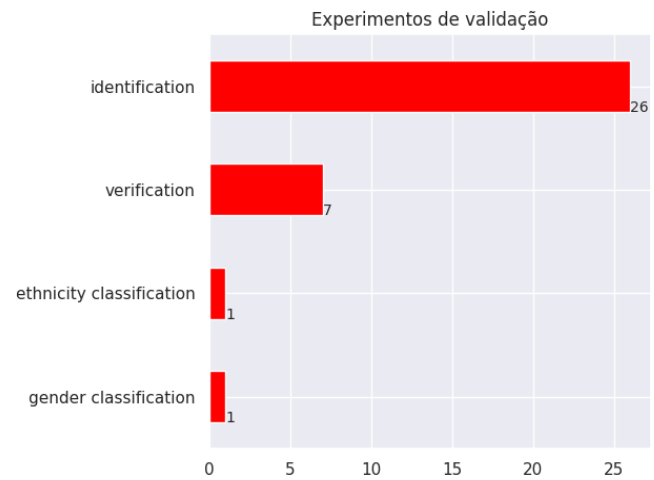


Figura 9. Experimentos usados para validação dos métodos

### 3.3.6 Quais modelos de predição são normalmente escolhidos?

Modelos baseados em *Support Vector Machines* predominam nos estudos selecionados. Métricas de similaridade, como distâncias e métricas estatísticas, possuem grande frequência de ocorrência. Destaque para o uso de Redes Neurais Convolucionais em dois trabalhos que propõem a conjunção de diversas bases afim de atender à necessidade de várias amostras para treinamento da rede [14], [19].

## 4 CONCLUSÃO

FAZER

## REFERÊNCIAS

- [1] Pearl Brereton, Barbara A Kitchenham, David Budgen, Mark Turner, and Mohamed Khalil. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of systems and software*, 80(4):571–583, 2007.
- [2] Huibin Li, Di Huang, Jean-Marie Morvan, Yunhong Wang, and Liming Chen. Towards 3d face recognition in the real: a registration-free approach using fine-grained matching of 3d keypoint descriptors. *International Journal of Computer Vision*, 113(2):128–142, 2015.
- [3] Robson S. Siqueira, Gilderlane R. Alexandre, Jose M. Soares, and George A.P. The. Triaxial slicing for 3-D face recognition from adapted rotational invariants spatial moments and minimal keypoints dependence. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(4):3513–3520, 2018.
- [4] Mehryar Emambakhsh and Adrian Evans. Nasal Patches and Curves for Expression-Robust 3D Face Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 39(5):995–1007, 2017.
- [5] Tarek Frikha, Faten Chaabane, Boukhchim Said, Hassen Drira, Mohamed Abid, Chokri Ben Amar, and Lifi Lille. Embedded approach for a Riemannian-based framework of analyzing 3D faces. In *Proceedings - 3rd International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing, ATSIP 2017*, pages 1–5. IEEE, 2017.
- [6] P Jonathon Phillips, Patrick J Flynn, Todd Scruggs, Kevin W Bowyer, Jin Chang, Kevin Hoffman, Joe Marques, Jaesik Min, and William Worek. Overview of the face recognition grand challenge. In *2005 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition (CVPR'05)*, volume 1, pages 947–954. IEEE, 2005.
- [7] Arman Savran, Neşe Alyüz, Hamdi Dibeklioglu, Oya Çeliktutan, Berk Gökberk, Bülent Sankur, and Lale Akarun. Bosphorus database for 3d face analysis. In *European Workshop on Biometrics*



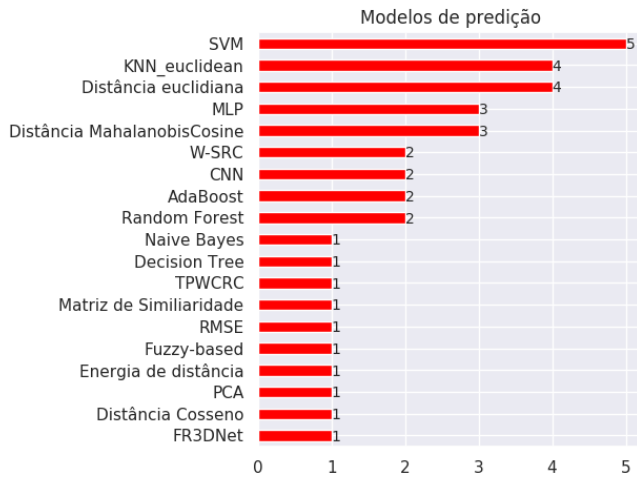


Figura 10. Modelos de predição

- and Identity Management, pages 47–56. Springer, 2008.
- [8] A.B. Moreno and A Sánchez. Gavabdb: a 3d face database, 01 2004.
- [9] Salwa Said, Olfa Jemai, Mourad Zaied, and Chokri Ben Amar. 3D fast wavelet network model-assisted 3D face recognition. *Eighth International Conference on Machine Vision (ICMV 2015)*, 9875(December 2015):98750E, 2015.
- [10] Naem Iqbal Ratyal, Imtiaz Ahmad Taj, Usama Ijaz Bajwa, and Muhammad Sajid. 3D face recognition based on pose and expression invariant alignment. *Computers and Electrical Engineering*, 46:241–255, 2015.
- [11] Shiwen Lv, Feipeng Da, and Xing Deng. A 3D face recognition method using region-based extended local binary pattern. In *Proceedings - International Conference on Image Processing, ICIP*, volume 2015-Decem of *IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, pages 3635–3639. Inst Elect & Elect Engineers; IEEE Signal Proc Soc, IEEE, 2015.
- [12] Yinhang Tang, Xiang Sun, Di Huang, Jean Marie Morvan, Yunhong Wang, and Liming Chen. 3D face recognition with asymptotic cones based principal curvatures. In *Proceedings of 2015 International Conference on Biometrics, ICB 2015*, International Conference on Biometrics, pages 466–472. SIEW-SNGIEM AWARD; Kasetsart Univ; CHANWANICH; ST Elect; SAFRAN Morpho, IEEE, may 2015.
- [13] Yinjie Lei, Yulan Guo, Munawar Hayat, Mohammed Bennamoun, and Xinzhong Zhou. A Two-Phase Weighted Collaborative Representation for 3D partial face recognition with single sample. *Pattern Recognition*, 52(C):218–237, 2016.
- [14] Syed Zulqarnain Gilani and Ajmal Mian. Towards Large-Scale 3D Face Recognition. In *2016 International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications, DICTA 2016*, pages 1–8, nov 2016.
- [15] Yan Liang, Yun Zhang, and Xian Xian Zeng. Pose-invariant 3D face recognition using half face. *Signal Processing: Image Communication*, 57:84–90, 2017.
- [16] Huiying Hu, Syed Afaq Ali Shah, Mohammed Bennamoun, and Michael Molton. 2D and 3D face recognition using convolutional neural network. In *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*, volume 2017-Decem, pages 133–138, nov 2017.
- [17] Walid Hariri, Hedi Tabia, Nadir Farah, David Declercq, and Abdallah Benouareth. Geometrical and Visual Feature Quantization for 3D Face Recognition. In J Imai, F and Tremeau, A and Braz, editor, *PROCEEDINGS OF THE 12TH INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON COMPUTER VISION, IMAGING AND COMPUTER GRAPHICS THEORY AND APPLICATIONS (VISIGRAPP 2017)*, VOL 5, pages 187–193. Inst Syst & Technologies Informat, Control & Commun; ACM SIGGRAPH; AFIG; Eurographics, 2017.
- [18] Naem Ratyal, Imtiaz Taj, Usama Bajwa, and Muhammad Sajid. Pose and expression invariant alignment based multi-view 3d face recognition. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 12(10):4903–4929, 2018.
- [19] Syed Zulqarnain Gilani and Ajmal Mian. Learning from Millions of 3D Scans for Large-Scale 3D Face Recognition. In *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 1896–1905, 2018.
- [20] Chenlei Lv, Zhongke Wu, Xingce Wang, Mingquan Zhou, and Kar Ann Toh. Nasal similarity measure of 3D faces based on curve shape space. *Pattern Recognition*, 88:458–469, 2019.
- [21] A. Lagorio, M. Cadoni, E. Grosso, and M. Tistarelli. A 3D algorithm for unsupervised face identification. *3rd International Workshop on Biometrics and Forensics, IWBIF 2015*, pages 1–7, 2015.
- [22] Xun Yu, Yongsheng Gao, and Jun Zhou. Boosting Radial Strings for 3D Face Recognition with Expressions and Occlusions. In Z Liew, AWC and Lovell, B and Fookes, C and Zhou, J and Gao, Y and Blumenstein, M and Wang, editor, *2016 International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications, DICTA 2016*, pages 1–6. Australian Govt, Dept Defence, Defence Sci & Technol Grp; IAPR; Canon Informat Syst Res Australia; IEEE; Griffith Univ; APRS, IEEE, nov 2016.
- [23] Chenlei Lv and Junli Zhao. 3D Face Recognition based on Local Conformal Parameterization and Iso-Geodesic Stripes Analysis. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018:1–10, 2018.
- [24] Koushik Dutta, Debotosh Bhattacharjee, Mita Nasipuri, and Anik Poddar. 3D face recognition based on volumetric representation of range image. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 883:175–189, 2019.
- [25] Ghada Torkhani, Anis Ladgham, and Anis Sakly. 3D gabor-edge filters applied to face depth images. In *2017 18th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering, STA 2017 - Proceedings*, volume 2018-Janua, pages 578–582, 2018.
- [26] Lijun Yin, Xiaozhou Wei, Yi Sun, Jun Wang, and Matthew J Rosato. A 3d facial expression database for facial behavior research. In *7th international conference on automatic face and gesture recognition (FGRO6)*, pages 211–216. IEEE, 2006.
- [27] Shalini Gupta, Kenneth R Castleman, Mia K Markey, and Alan C Bovik. Texas 3d face recognition database. In *2010 IEEE Southwest Symposium on Image Analysis & Interpretation (SSIAI)*, pages 97–100. IEEE, 2010.
- [28] Suranjan Ganguly, Debotosh Bhattacharjee, and Mita Nasipuri. 3D face recognition from complement component range face images. In *2015 IEEE International Conference on Computer Graphics, Vision and Information Security, CGVIS 2015*, pages 275–278, 2016.
- [29] Alessandro Colombo, Claudio Cusano, and Raimondo Schettini. Umb-db: A database of partially occluded 3d faces. In *2011 IEEE International Conference on Computer Vision Workshops (ICCV Workshops)*, pages 2113–2119. IEEE, 2011.
- [30] Cristina Conde, Roberto Cipolla, Licesio J. Rodríguez-aragón, Ángel Serrano, and Enrique Cabello. 3d facial feature location with spin images.
- [31] Naouar Belghini, Soufiane Ezghari, and Azeddine Zahi. 3D face recognition using facial curves, sparse random projection and fuzzy similarity measure. In *Colloquium in Information Science and Technology, CIST*, volume 2015-January, pages 317–322, 2015.
- [32] Chenghua Xu, Tieniu Tan, Stan Li, Yunhong Wang, and Cheng Zhong. Learning effective intrinsic features to boost 3d-based face recognition. In *European Conference on Computer Vision*, pages 416–427. Springer, 2006.
- [33] Biao Shi, Huaijuan Zang, Rongsheng Zheng, and Shu Zhan. An efficient 3D face recognition approach using Frenet feature of iso-geodesic curves. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 59:455–460, 2019.
- [34] Ramanathan Muthuganapathy and Karthik Ramani. Shape retrieval contest 2008: Cad models. In *Shape Modeling International*, pages 221–222, 2008.
- [35] Rachid Ahdid, Khaddouj Taifi, Said Said, Mohamed Fakir, and Bouzid Manaut. Automatic face recognition system using iso-geodesic curves in riemanian manifold. In *Proceedings - 2017 14th International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization, CGIV 2017*, pages 73–78, 2018.
- [36] Ghada Torkhani, Anis Ladgham, Mohamed Nejib Mansouri, and Anis Sakly. Gabor-svm applied to 3d-2d deformed mesh model. In *2016 2nd International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP)*, pages 447–452. IEEE, 2016.
- [37] Ghada Torkhani, Anis Ladgham, Mohamed Nejib Mansouri, and Anis Sakly. Gabor-SVM applied to 3D-2D deformed mesh model. In *2nd International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing, ATSIP 2016*, pages 447–452. IEEE; IEEE Tunisia

- Sect; ATMS Lab; ATSI; IEEE Explore; EMB; ENIS Sch; Telecom Paris; Supelec; CESBIO; Telecom SudParis; ENIT; Univ Paris Sud; IEEE Signal Proc Soc Tunisia Chapter; ISAAM Inst; Minist Higher Educ Res; IEEE EMP Tunisia Chapter; Novartis Comp, IEEE, mar 2016.
- [38] U. of Notre Dame. *University of Notre Dame Biometrics Database*, 2008.
  - [39] Stan Z Li, Zhen Lei, and Meng Ao. The hfb face database for heterogeneous face biometrics research. In *2009 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, pages 1–8. IEEE, 2009.
  - [40] Ronghua Liang, Wenjia Shen, Xiao Xin Li, and Haixia Wang. Bayesian multi-distribution-based discriminative feature extraction for 3D face recognition. *Information Sciences*, 320(C):406–417, nov 2015.
  - [41] L Yin, X Chen and Y Sun, T Worm, and M Reale. A high-resolution 3d dynamic facial expression database. In *IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, Amsterdam, The Netherlands*, volume 126, 2008.
  - [42] Timothy C Faltemier, Kevin W Bowyer, and Patrick J Flynn. Using a multi-instance enrollment representation to improve 3d face recognition. In *2007 First IEEE International Conference on Biometrics: Theory, Applications, and Systems*, pages 1–6. IEEE, 2007.
  - [43] Charles Beumier and Marc Acheroy. Automatic 3d face authentication. *Image and Vision Computing*, 18(4):315–321, 2000.
  - [44] Vipin Vijayan, Kevin W Bowyer, Patrick J Flynn, Di Huang, Liming Chen, Mark Hansen, Omar Ocegueda, Shishir K Shah, and Ioannis A Kakadiaris. Twins 3d face recognition challenge. In *2011 International Joint Conference on Biometrics (IJCB)*, pages 1–7. IEEE, 2011.
  - [45] Marcella Peter, Jacey-Lynn Minoi, and Irwandi Hipni Mohamad Hipiny. 3d face recognition using kernel-based pca approach. In Rayner Alfred, Yuto Lim, Ag Asri Ag Ibrahim, and Patricia Anthony, editors, *Computational Science and Technology*, pages 77–86, Singapore, 2019. Springer Singapore.
  - [46] Marcella Peter, Jacey Lynn Minoi, and Irwandi Hipni Mohamad Hipiny. 3D face recognition using kernel-based PCA approach. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 481:77–86, 2019.