

Identificação e mensuração do epitélio no Corvis

Marcus Vinícius Lima Santos – marcusvinici25@gmail.com
Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas (UNCISAL)

Edileuza Leão – edileuzavleao@gmail.com
Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas (UNCISAL)

Tsang Ing Ren – tir@cin.ufpe.br
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Aydano Machado – aydano.machado@gmail.com
Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

João M Lyra – joaomlyra@gmail.com
Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas (UNCISAL)

Renato Ambrósio Jr – dr.renatoambrosio@gmail.com
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)

Resumo—Objetivo: Identificar o epitélio nas imagens do Corvis ST (Scheimpflug Technology; Wetzlar, Germany) através da detecção de borda e mensura os dados epiteliais encontrados para comparar a literatura. **Métodos:** Foram analisados 126 exames de 14 pacientes com córneas normais e o método proposto possui três etapas: (1) identificação do epitélio com detecção de bordas Canny e preenchimento morfológico, (2) validação para retirada de imagens onde não é possível identificar apenas o epitélio e (3) mensuração epitelial. **Resultados:** Nas mensurações propostas obtivemos na medida total a média da espessura foi de $81.93 \pm 3.5 \mu\text{m}$, já na média da espessura na distancia euclidiana obtivemos $68.89 \pm 5.2 \mu\text{m}$ na medida total. A mediana da espessura na medida total obteve uma média de $79.11 \pm 6.2 \mu\text{m}$, já na mediana da espessura na distancia euclidiana a média foi de $65.2282 \pm 6.2 \mu\text{m}$ na medida total. A moda da espessura na medida total teve uma média de $69.69 \pm 1.8 \mu\text{m}$, já na moda da espessura na distancia euclidiana a média foi de $55.80 \pm 1.8 \mu\text{m}$ na medida total. Na medida central a média na espessura foi de $69.08 \pm 1.9 \mu\text{m}$, já na média da espessura na distancia euclidiana obtivemos $55.29 \pm 2.4 \mu\text{m}$ na medida central. A mediana e moda da espessura na medida central tiveram uma média de 69.44 ± 0.0 , já na mediana e moda da espessura na distancia euclidiana a média foi $55.55 \pm 0.0 \mu\text{m}$ na medida central. A área teve uma média de $4.7 \times 10^4 \mu\text{m}$ na medida total, já na medida central a sua média foi $1.4 \times 10^4 \mu\text{m}$. **Conclusão:** Baseado nos resultados das mensurações propostas, percebemos que os valores da espessura na distancia euclidiana que encontramos são aceitáveis quando comparados a literatura. As mensurações em volta da medida de 8 mm da córnea e também a área nunca foram exploradas, devido a isso não foram comparadas a literatura.

Palavras-chave— Córnea; Epitélio; Corvis; Processamento de imagens.

Abstract—Objective: To identify the epithelium on Corvis ST images (Scheimpflug Technology; Wetzlar, Germany) and measure it. **Methods:** 126 examinations of 14 patients with normal corneas were analyzed and the proposed method has three stages: (1) identification of the epithelium with detection of Canny borders and morphological filling; (2) validation for image removal where it is not possible to identify only the epithelium and (3) epithelial measurement. **Results:** At the proposed measurements we obtained in the total measure the average thickness $81.93 \pm 3.5 \mu\text{m}$, while in the average thickness in the Euclidean distance we obtained $68.89 \pm 5.2 \mu\text{m}$ in the total measurement. The

median thickness in the total measurement $79.11 \pm 6.2 \mu\text{m}$, while the median thickness in the Euclidean distance $65.2282 \pm 6.2 \mu\text{m}$ in the total measurement. The thickness in the total measurement averaged $69.69 \pm 1.8 \mu\text{m}$, while in the thickness fashion in the Euclidean distance the average was $55.80 \pm 1.8 \mu\text{m}$ in the total measurement. In the central measure, the average thickness was $69.08 \pm 1.9 \mu\text{m}$, while in the average thickness in the Euclidean distance we obtained 55.29 ± 2.4 in the central measure. The median and mode of thickness in the central measure averaged 69.44 ± 0.0 , while in the median and mode of thickness in the Euclidean distance the average was $55.55 \pm 0.0 \mu\text{m}$ in the central measure. The area had an average of $4.7 \times 10^4 \mu\text{m}$ in the total measure, while in the central measure its average was $1.4 \times 10^4 \mu\text{m}$. **Conclusion:** Based on the results of the proposed measurements, we realize that the thickness values in the Euclidean distance we found are acceptable when compared to the literature. Measurements around the 8mm of the cornea and also the area were never explored, because of this they were not compared to the literature.

Keywords — Cornea; Epithelium; Corvis; Image processing.

1 INTRODUÇÃO

A córnea é responsável pela recepção dos raios luminosos e é a parte mais exposta do olho (DELMONTE; KIM, 2011). Ela também é responsável por conter o maior poder refrativo do olho (MUTTI, 2001), além da sua função refrativa exerce funções química e mecânica (POMFRETT, 2017). É composta histologicamente por 5 camadas: epitélio, membrana de Bowman, estroma, membrana de Descemet e o endotélio. O epitélio é a camada mais exposta da córnea. Sua espessura tem cerca de 0,005 mm (NAUMANN; APPLE, 1988) que corresponde a cerca de 10% da espessura da córnea. Suas principais funções são bloquear a passagem de agentes patogênicos para o olho, absorver oxigênio e nutrientes do filme lacrimal (FATT, 1978) e controlar o inchaço do estroma (PATEL; ALIÓ; PÉREZ-SANTONJA, 2004). Além disso, existe uma doença que afeta a córnea o ceratocone que é um distúrbio corneano progressivo, não inflamatório, caracterizada por perda gradual e compressão de fibrilas de colágeno, desenvolvendo um afinamento progressivo e uma protrusão corneana cônica (RABINOWITZ, 1998). O epitélio é a primeira camada que é impactada com o ceratocone (LEIBOWITZ, 1984), isso mostra que as alterações em torno do epitélio podem ser causadas pela doença (TSUBOTA et al., 1995). O Corvis ST (Oculus Optikgerte GmbH, Wetzlar, Alemanha) contém uma câmera UHS Scheimpflug que captura 140 imagens transversais bidimensionais da córnea em 31 milissegundos cobrindo 8mm horizontais antes e durante a tonometria de não contato por sopro de ar (AMBRÓSIO et al., 2013). O foco deste trabalho será em torno das imagens no primeiro momento estático onde a córnea não sofre deformação pelo sopro de ar. Isso se deve, por ser o primeiro estudo do epitélio no Corvis. Com isso, a análise no primeiro momento estático se torna essencial para que em trabalhos futuros se possam analisar ou comparar aos exames no momento da deformação pelo sopro de ar. O presente estudo sobre a identificação do epitélio e sua posterior mensuração visa achar padrões para o epitélio de córneas normais para que futuramente seja possível validar essas medições aplicando testes de repetibilidade e reprodutibilidade (LOPES et al., 2017). Para isto, iremos analisar o epitélio em córneas normais e o resultado das medições em cada imagem e entre as imagens. Este artigo apresenta uma nova abordagem nos exames do Corvis. Analisando somente o epitélio. Verificando os exames em sua totalidade (8 mm) e na sua medida central (MAIMONE; MAIMONE; ROSSI, 2007).

2 MATERIAL

O Corvis ST registra uma imagem no primeiro momento estático ($I = 1$) da zona central da córnea de 8 mm imediatamente antes da medição da pressão intra-ocular (PIO). A imagem no primeiro momento estático não sofre deformação. As imagens têm uma resolução de $M \times N = 200 \times$

576 pixels. Aplicando a binarização nas imagens do Corvis ST, se identifica algumas camadas da córnea. Os exames foram realizados em voluntários saudáveis seguindo princípios da Declaração de Helsinque. Foram analisados quatorze voluntários com exames oftalmológicos normais. Os critérios de exclusão foram a presença de qualquer doença na córnea, histórico de cirurgia ou trauma ocular, uso de lentes de contato, gravidez, outras condições oculares diferentes do erro de refração. Foi selecionado um olho aleatoriamente de cada participante. Cada olho foi examinado três vezes por três diferentes dispositivos Corvis ST, gerando nove exames por olho, cada um considerando-se a primeira imagem, resultando em 126 imagens.

3 MÉTODO

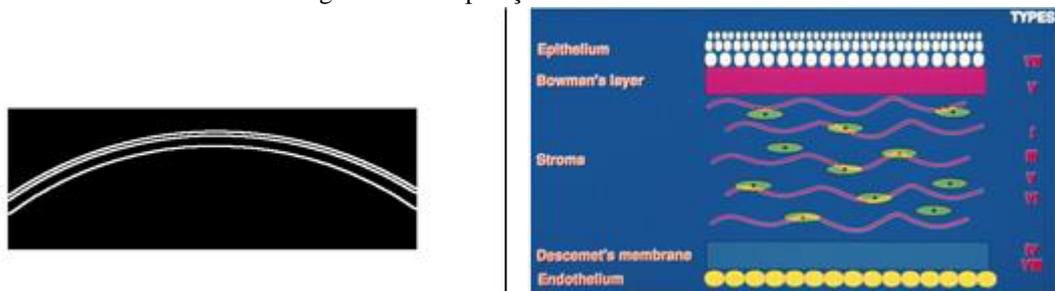
O novo método proposto é composto por três etapas na primeira etapa existem mais quatro sub-etapas onde o epitélio é identificado, isolado e preenchido. Na segunda etapa as imagens são validadas. Na última etapa as imagens são mensuradas.

1. Identificação do Epitélio
2. Validação
3. Mensuração do Epitélio

3.1 IDENTIFICAÇÃO DO EPITÉLIO

A intenção nesta fase é identificar o epitélio. Para isto, iremos pré-processar as imagens baseado e adaptado de Leão et al. (2019), analisamos uma imagem do olho definido como matriz de células $L_{GRAY}\{e\}$ cada matriz contém uma m -linha ($1, M$) e n -coluna ($1, N$) da imagem. Na Figura 1 (a) vemos as curvaturas na imagem binarizada $L\{e\}$, que correspondem na Figura 1 (b) a algumas camadas da córnea. A primeira curvatura da córnea superior é identificada em $L\{e\}$ no primeiro ponto branco de cada coluna em cada imagem. Ela corresponde a linha limiar do epitélio. A segunda curvatura corneana é identificada em $L\{e\}$ abaixo da primeira curvatura superior. O qual deduz-se, pela posição, o fim do epitélio. Embora a borda da curvatura da córnea inferior seja detectada pelo método de Canny, essa curvatura não será utilizada no artigo.

Figura 1 – Comparação das curvaturas



(a) Imagem Pré-processada

(b) Camadas da Córnea

Fonte: (RABINOWITZ, 1998)

Na Figura 2, vemos que entre a primeira curvatura da córnea superior e a segunda curvatura corneana há um intervalo, este intervalo representa junto a primeira curvatura e a segunda curvatura o epitélio. O foco dessa etapa de identificação é manter apenas o epitélio na imagem.

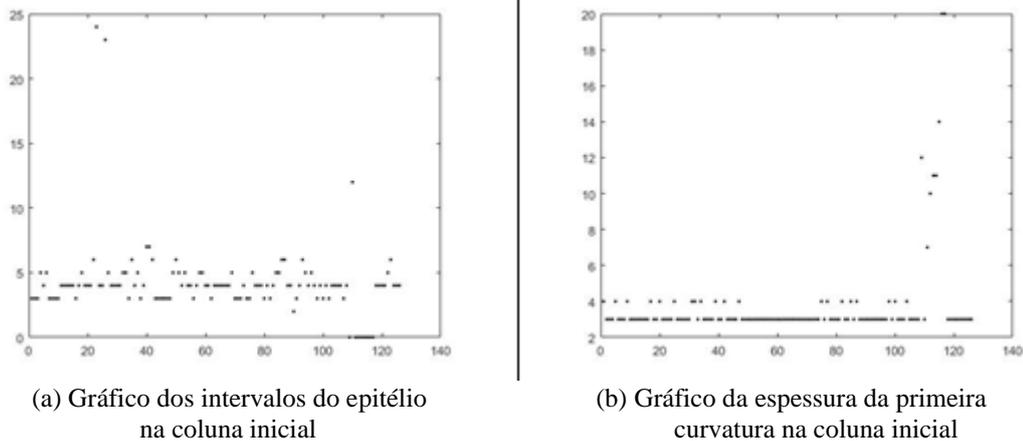
Figura 2 – Identificação dos intervalos do epitélio.



3.1.1 PREENCHIMENTO DO INTERVALO

Para isto, identificamos se há um intervalo na coluna inicial entre a primeira curvatura até a segunda curvatura. Utilizamos um identificador de índices e valores de elementos diferentes de zero. Na Figura 3 em (a) o gráfico mostra uma variação nos intervalos da coluna inicial para cada um das 126 imagens.

Figura 3 – Gráficos epitélio coluna inicial



Após a binarização, verificamos se nessas imagens, se a primeira curvatura tem de três a quatro pixels e se o intervalo varia de dois a sete pixels, caso satisfaça estas condições é feito o preenchimento na primeira e na última coluna, tornando o objeto único como na Figura 4 em (b). A Figura 5 em (a) mostra uma exceção. Há também casos onde não há intervalo, o que significa que o preenchimento já existe, como na Figura 5 em (b).

Figura 4 – Antes e depois do preenchimento do intervalo

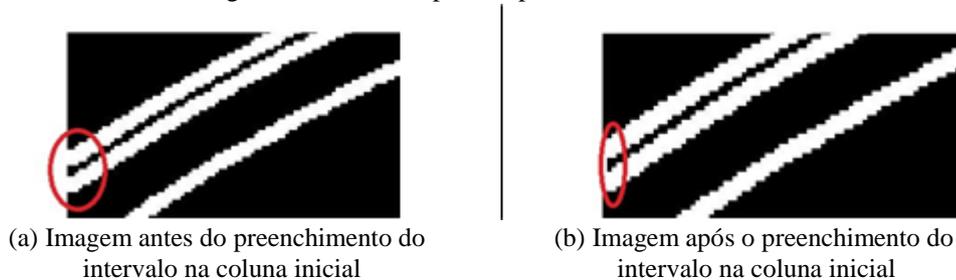
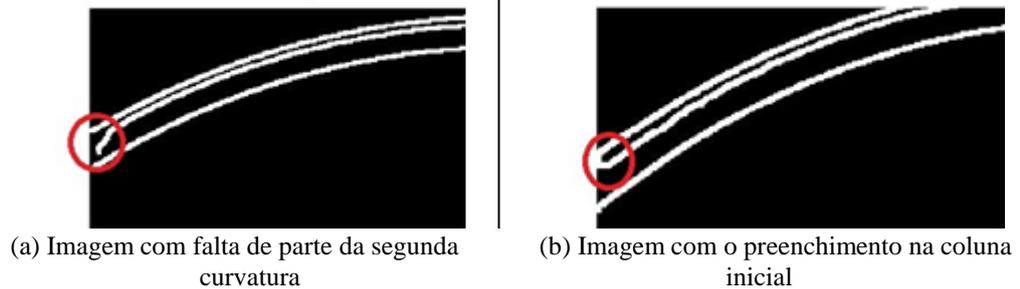


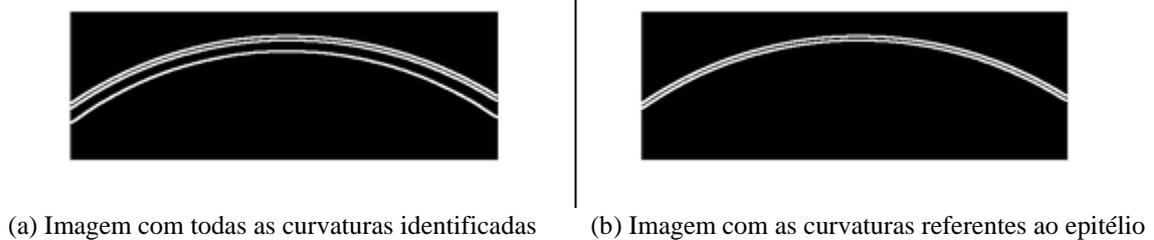
Figura 5 – Anomalias na coluna inicial



3.1.2 RETIRADA DAS CURVATURAS QUE NÃO FAZEM PARTE DO EPITÉLIO

Utilizamos o conceito de componentes conectados para identificar o epitélio que é sempre o objeto mais superior na imagem.

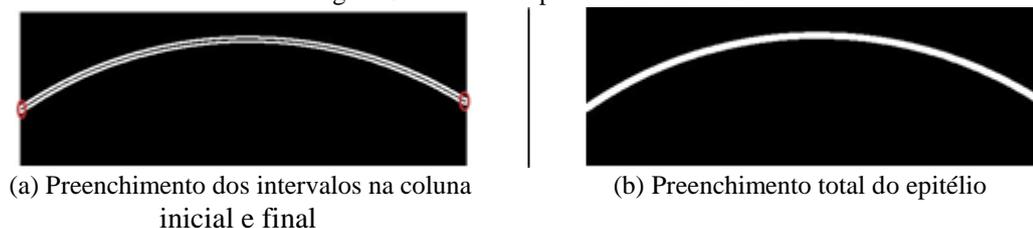
Figura 6 – Antes e depois das curvaturas



3.1.3 PREENCHIMENTO TOTAL DO EPITÉLIO

Para o preenchimento total do epitélio foi utilizado preenchimento morfológico (MICHIELSEN; De Raedt, 2000). Figura 7 em (b) mostra o preenchimento.

Figura 6 – Antes e depois das curvaturas



3.2 VALIDAÇÃO

A validação proposta tem o objetivo de garantir a permanência apenas do epitélio na imagem. O método utilizado foi análise estatística da área. A análise da área foi necessária para identificar um padrão entre as imagens e descarta possíveis anomalias que impossibilitem a mensuração. Geramos um gráfico na Figura 8 com a área de todas as imagens, e vemos uma variação de cinco mil até seis mil e quinhentos pixels. As 14 imagens que fogem deste padrão apresentaram alguma anomalia e são descartadas. Pois nestas imagens percebem-se problemas como na Figura 9.

Figura 8 – Gráfico da área

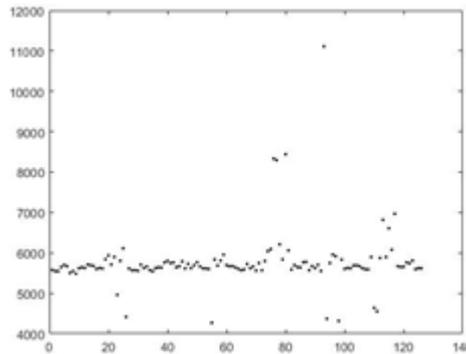
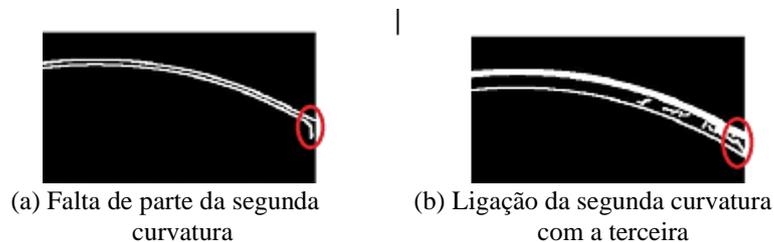


Figura 9 – Pontos fora da curva



3.3 MENSURAÇÃO

Verificamos a espessura na distancia euclidiana, a espessura em pixels e a área. Não levaremos em consideração a borda da curvatura superior e inferior por causa da dilatação na binarização. Devido a isso os dois primeiros pixels superior e inferior de cada coluna não serão mensurados. Analisaremos o epitélio na córnea com 8mm que representa toda a imagem e na sua medida central 3mm que é considerada a espessura corneana central, comumente mensurada pelos equipamentos (MAIMONE; MAIMONE; ROSSI, 2007).

3.3.1 ESPESSURA

Para análise da espessura identificamos o seu tamanho em cada coluna. O seu tamanho é definido pelo número de pixels presentes na coluna. Calculamos a média, moda e mediana das espessuras por imagem.

3.3.2 DISTANCIA EUCLIDIANA

A distância euclidiana é a distância entre dois pontos (DATTORRO; DATTORRO, 2005). Com ela passaremos parâmetros de cada coluna da imagem. Estes parâmetros serão os primeiros pixels e os últimos pixels representados ambos pela coloração branca. Mensuramos a espessura em cada coluna na distância euclidiana. Calculamos a média, moda e mediana de cada imagem.

3.3.3 ÁREA

A área é a quantidade total de pixels na imagem. Ela foi calculada em cima da matriz 200×576 que representa 8mm do epitélio e da matriz 200×216 que representa a medida central do epitélio

(3mm). O retorno recebido é do número de partes brancas contidos em cada imagem. Foi calculada a média da área por imagem.

Tabela 1
Resultados das mensurações (μm)

	Medida Total				Medida Central	
	Média	DP	CV	MG	DP	CV
Média ES	81.9337	3.3544	0.0409	69.0845	1.9361	0.0280
Mediana ES	79.1171	6.2779	0.0793	69.4444	8.5648×10^{-14}	1.2333×10^{-15}
Moda ES	69.6925	1.8476	0.0265	69.4444	8.5648×10^{-14}	1.2333×10^{-15}
Média DE	68.8944	5.2143	0.0757	55.2995	2.4750	0.0448
Mediana DE	65.2282	6.2779	0.0962	55.5556	8.5648×10^{-14}	1.2333×10^{-15}
Moda DE	55.8036	1.8476	0.0331	55.5556	8.5648×10^{-14}	1.2333×10^{-15}
Área	4.7194	1.9321×10^3	0.0409	1.4922×10^4	418.1923	0.0280
	$\times 10^4$					

CV – Coeficiente de variação; DP – Desvio Padrão; ES – Espessura; DE – Distancia Euclidiana.

A tabela mostra os valores obtidos na mensuração em micrômetros. A média, o coeficiente de variação (CV) e desvio padrão (DP). A média mostra os valores médios das mensurações realizadas, ou seja, mostra a concentração dos dados. O DP mostra a variação em torno da média. O CV nos aponta a variação relativa à média.

4 RESULTADOS

Com as mensurações já feitas, na medida total a média da espessura foi de $81.93 \pm 3.5 \mu\text{m}$, já na média da espessura na distância euclidiana obtivemos $68.89 \pm 5.2 \mu\text{m}$ na medida total. Comparando-as vemos uma diferença $13.04 \mu\text{m}$. A mediana da espessura na medida total obteve uma média de $79.11 \pm 6.2 \mu\text{m}$, já na mediana da espessura na distância euclidiana a média foi de $65.2282 \pm 6.2 \mu\text{m}$ na medida total. A moda da espessura na medida total teve uma média de $69.69 \pm 1.8 \mu\text{m}$, já na moda da espessura na distância euclidiana a média foi de $55.80 \pm 1.8 \mu\text{m}$ na medida total. Na medida central a média na espessura foi de $69.08 \pm 1.9 \mu\text{m}$, já na média da espessura na distância euclidiana obtivemos $55.29 \pm 2.4 \mu\text{m}$ na medida central. Comparando as médias vemos uma diferença de $13,79 \mu\text{m}$. A mediana e moda da espessura na medida central tiveram uma média de 69.44 ± 0.0 , já na mediana e moda da espessura na distância euclidiana a média foi $55.55 \pm 0.0 \mu\text{m}$ na medida central. A área teve uma média de $4.7 \times 10^4 \mu\text{m}$ na medida total, já na medida central a sua média foi $1.4 \times 10^4 \mu\text{m}$.

5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A análise epitelial da córnea contribui na caracterização anatômica e óptica do olho (SALOMÃO et al., 2017). No método de detecção de bordas proposto por Leão et al. (2019), conseguimos identificar o epitélio nas imagens. Com isso, emergimos em uma análise epitelial dos exames, que nunca foi explorada na literatura relacionada ao Corvis. Para isso, foi proposto a análise da espessura e área. Obtivemos os valores destas mensurações, na medida central o menor valor da espessura encontrado foi $55.2 \pm 2.4 \mu\text{m}$ na média da espessura na distancia euclidiana que quando

comparado a média na literatura como nos artigos (REINSTEIN et al., 1994) (LI et al., 1997) que tem suas médias de espessura epitelial na medida central da córnea $50.7 \pm 3.7 \mu\text{m}$ e $50.6 \pm 3.9 \mu\text{m}$ respectivamente. Percebemos que a menor média na espessura que encontramos tem um menor desvio padrão porém um aumento de 4.5 a 4.6 μm na média. Já na média da espessura pelo número de pixels por coluna obtivemos $69.0 \pm 1.9 \mu\text{m}$ que quando comparado a soma da espessura do epitélio mais a espessura da camada de Bowman na medida central (LI et al., 1997) que foi de 66.2 μm vemos um aumento de apenas 2.8 μm . Mas quando comparado a outro estudo do epitélio (ELSHEIKH; ALHASSO; RAMA, 2008) que analisa a medida central da córnea com e sem o epitélio vemos que a espessura epitelial tem 62 μm . Com isso, percebemos que os valores da espessura na distancia euclidiana que encontramos são aceitáveis quando comparados a literatura. As mensurações em volta da medida total (8mm) nunca foram exploradas, devido a isso não a comparamos a literatura. A área na medida central nunca foi abordada na literatura atual, sendo uma importante contribuição deste trabalho. Existem trabalhos que analisaram a camada de Bowman para o diagnostico do ceratocone (CHANDAPURA et al., 2019) isso mostra que o mesmo pode ser feito com as informações do epitélio encontradas no Corvis. Vale salientar, que a binarização proposta (LEÃO et al., 2019) foi feita para a análise da biomecânica da córnea, não com o objetivo de mensurar o epitélio. Então como trabalho futuro propõe-se uma detecção de borda mais sensível.

REFERÊNCIAS

- AMBRÓSIO, R. et al. Dynamic ultra high speed Scheimpflug imaging for Assessing Corneal Biomechanical Properties. v. 72, n. 2, p. 99–102, 2013. ISSN 00347280.
- CHANDAPURA, R. et al. Bowman's topography for improved detection of early ectasia. *Journal of Biophotonics*, n. May, p. 1–11, 2019. ISSN 18640648.
- DATTORRO, M.; DATTORRO, J. Convex Optimization Euclidean Distance Geometry. 2005. 369–460 p.
- DELMONTE, D. W.; KIM, T. Anatomy and physiology of the cornea. *Journal of Cataract and Refractive Surgery, ASCRS and ESCRS*, v. 37, n. 3, p. 588–598, 2011. ISSN 08863350. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrs.2010.12.037>>.
- ELSHEIKH, A.; ALHASSO, D.; RAMA, P. Assessment of the epithelium's contribution to corneal biomechanics. *Experimental Eye Research*, v. 86, n. 2, p. 445–451, 2008. ISSN 00144835.
- FATT, I. *Physiology of the Eye: an Introduction to the Vegetative Functions*. Butterworths. p. 335, 1978.
- LEÃO, E. et al. Corneal deformation amplitude analysis for keratoconus detection through compensation for intraocular pressure and integration with horizontal thickness profile. *Computers in Biology and Medicine*, p. 1–24, 2019.
- LEIBOWITZ, H. *Keratoconus in corneal disorders*. Philadelphia: WB Saunders, p. 22–100, 1984.
- LI, H. F. et al. Epithelial and corneal thickness measurements by in vivo confocal microscopy through focusing (CMTF). *Current eye research*, v. 16, n. 3, p. 214–21, 1997. ISSN 0271-3683. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9088737>>.

LOPES, B. T. et al. Repeatability and Reproducibility of Intraocular Pressure and Dynamic Corneal Response Parameters Assessed by the Corvis ST. *Journal of Ophthalmology*, v. 2017, p. 1–4, 2017. ISSN 2090-004X.

MAIMONE, A. L.; MAIMONE, N.; ROSSI, R. M. Comparação entre as medidas da espessura central corneana usando a paquimetria óptica e a ultra-sônica. *Revista Brasileira de Oftalmologia*, v. 66, n. 5, p. 309–314, 2007. ISSN 00347280.

MICHELSEN, K.; De Raedt, H. *Morphological image analysis*. [S.l.]: Springer, 2000. v. 132. 94–103 p. ISSN 00104655. ISBN 9783642076961.

MUTTI, D. O. *Optics of the Human Eye*. *Optometry and Vision Science*, v. 78, n. 12, p. 862, 2001. ISSN 1040-5488.

NAUMANN; APPLE, G. O. H. D. *J. Pathology of the Eye*. [S.l.: s.n.], 1988. v. 12. 809 p. ISSN 0147-5185. ISBN 9781461385271.

PATEL, S.; ALIÓ, J. L.; PÉREZ-SANTONJA, J. J. Refractive index change in bovine and human corneal stroma before and after LASIK: A study of untreated and re-treated corneas implicating stromal hydration. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, v. 45, n. 10, p. 3523–3530, 2004. ISSN 01460404.

POMFRETT, C. J. *Special senses*. First edition. Elsevier Inc., 2017. v. 18. 202–204 p. ISSN 18787584. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-381361-9.00021-4>>.

RABINOWITZ, Y. Keratoconus. *Survey of Ophthalmology*, v. 42, n. 4, p. 297–319, jan 1998. ISSN 00396257. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0039625797001197>>.

REINSTEIN, D. Z. et al. Epithelial and Corneal Thickness Measurements by High-frequency Ultrasound Digital Signal Processing. *Ophthalmology*, American Academy of Ophthalmology, Inc, v. 101, n. 1, p. 140–146, 1994. ISSN 01616420. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0161-6420\(94\)31373-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0161-6420(94)31373-X)>.

SALOMÃO, M. Q. et al. Role of the corneal epithelium measurements in keratorefractive surgery. *Current Opinion in Ophthalmology*, v. 28, n. 4, p. 326–336, 2017. ISSN 15317021.

TSUBOTA, K. et al. *Corneal Epithelium in Keratoconus*. 1995. 77–83 p.