

# Desenvolvimento de um Instrumento para Medida da Topografia da Córnea

ERNANY PARANAGUÁ DA SILVA  
LUIS ALBERTO V. DE CARVALHO  
SILVIO ANTONIO TONISSI JUNIOR  
LUIS EDUARDO DOS SANTOS  
ANTONIO CARLOS ROMÃO  
ANTONIO CÉSAR DE OLIVEIRA  
JARBAS CAIADO DE CASTRO

IFSC - Instituto de Física de São Carlos - Grupo de Ótica  
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465, 13560-250 São Carlos, SP, Brasil  
ernany@ifqsc.sc.usp.br

**Abstract.** This paper describes the development of a computerized system which analyses the contour of the human cornea. Illuminated rings are projected on the subject and the reflected image is captured by an acquisition board installed in a micro-computer. This image is processed by means of consistent algorithms based on computer vision, optical geometry and oftalmology principles and as a result, color-coded maps are generated. By analysing these maps one can easily diagnose classical ametropies such as astigmatism and keratoconus and also identify normal, close to spherical, corneas.

**Keywords:** Corneal Topography, Image Processing, Interpolation.

## Introdução

A córnea é responsável pela maior parte do poder refrativo do olho. Nos últimos 150 anos os oftalmologistas têm pesquisado maneiras de descrever suas características topográficas [Gormley et al.(1988)]. A maior parte destes estudos baseiam-se na projeção de miras na superfície anterior da córnea para, através da análise do reflexo, traçar seu perfil geométrico.

Placido desenvolveu um dispositivo, [Placido (1880)] formado por anéis circulares iluminados onde através da projeção destes na córnea, realiza-se uma análise qualitativa e subjetiva do padrão de reflexo. Desde então, muitos estudos foram realizados utilizando este mesmo princípio. Hoje, em conjunto com modernos sistemas computacionais e sofisticados modelos matemáticos [Mandel-Helen(1971)], continua-se difundindo esta aplicação.

Nesta pesquisa desenvolveu-se um sistema computadorizado para análise da topografia da superfície da córnea, baseado nos anéis de Placido. Este sistema permite analisar uma região maior da córnea, comparado com as técnicas tradicionais como por exemplo o ceratômetro [Westheimer (1965)]. As informações são apresentadas em mapas coloridos codificados (cada cor corresponde a uma dioptria), tornando a interpretação simples e rápida.

## Materiais e Métodos

O sistema utilizou-se de um micro-computador pentium 100, com uma placa de aquisição de sinais de vídeo convencional, para o processamento de imagens e cálculos matemáticos. As imagens são capturadas por

uma câmera CCD, monocromática de alta definição, acoplada ao sistema de projeção dos anéis. Este último foi construído em acrílico de formato cônico com 16 anéis concêntricos pretos.

As imagens obtidas foram adquiridas e processadas utilizando-se algoritmos baseados em princípios de visão computacional, inteligência artificial, ótica geométrica e oftalmologia clínica.

Inicialmente realiza-se a detecção dos padrões anelares através de uma varredura angular de 1 em 1 grau. Para córneas onde foi detectado o número completo de anéis, é possível encontrar-se até 5760 pontos. Utilizando-se um modelo elíptico [Mandel-Helen(1971)] para o contorno de cada um dos 360 meridianos calculou-se, pelo método dos mínimos quadrados, a melhor elipse para cada um destes ângulos. Através da equação [Mammone et al.(1990)] que descreve a curvatura de uma função  $f(x)$ :

$$k(x) = \frac{f''(x)}{[1 + [f'(x)]^2]^{3/2}}$$

Determinou-se a dioptria  $D(x)$  associada a cada um dos pontos utilizando a expressão

$$D(x) = 0.3375k(x)$$

onde 0.3375 é o valor do índice de refração da córnea menos o índice de refração do ar.

Para construir o mapa colorido contínuo interpolou-se tais valores, com passo de 0.01 em 0.01 grau, gerando assim, um padrão suave e preciso.

## Resultados

Foram realizadas diversas medidas em córneas de homens e mulheres adultos. Para todas elas obtiveram-se mapas coloridos contínuos com as dioptrias associadas. O tempo de processamento para um mapa completo está na ordem de 20 segundos. Pode-se identificar várias anomalias conhecidas, dentre elas o astigmatismo e o ceratocône. Observa-se também córneas que são praticamente esféricas.

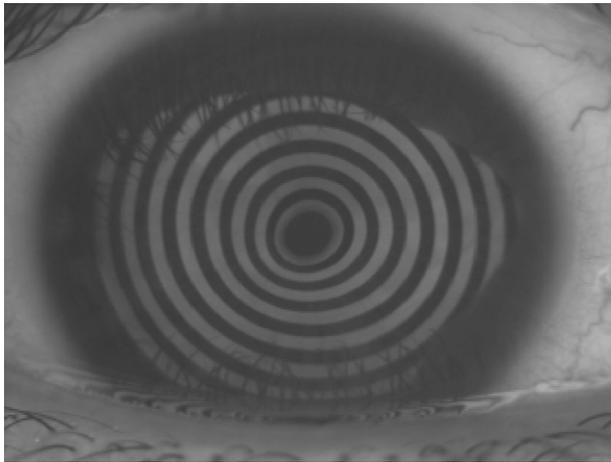


Figura 1 - Imagem formada na córnea de anéis projetados

Na figura 1 tem-se a imagem do reflexo do projetor na córnea de um paciente com ceratocône. Na figura 2 apresenta-se o mapa topográfico desta mesma córnea, através do qual pode-se diagnosticar a existência do ceratocône, com informações precisas sobre as dioptrias.

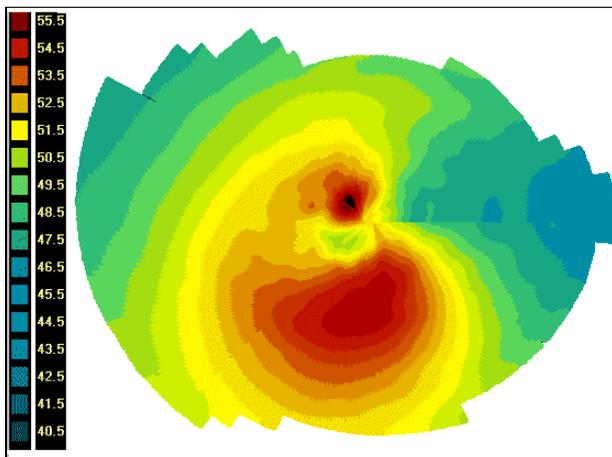


Figura 2 - Mapa topográfico com valores em dioptrias

No caso de uma córnea com formato muito próximo ao esférico, observa-se através do mapa colorido a uniformidade das cores para distâncias fixas ao centro, as quais variam lentamente na periferia

devido a um leve achatamento nesta região. Isto se deve ao fato de que, mesmo nas córneas mais esféricas, a região não central (distantes mais de ~3mm do centro) é melhor descrita por elipsóides

## Conclusão

O sistema desenvolvido apresentou bons resultados para córneas normais, esféricas e astigmáticas. Estuda-se um modelo matemático tangencial [Hannush et al. (1989)], onde perturbações na córnea tais como ceratocône e outras que provocam pequenas erupções localizadas, possam ser melhor detectadas. Outros modelos matemáticos também estão sendo pesquisados como Axial, "Arc-Stepping", Wang et al. (1987) e adaptações para lentes de contato.

O software está sendo otimizado juntamente com toda a parte mecânica com a finalidade de se chegar um protótipo, e assim levar este produto a empresas que estejam interessadas a produzi-lo.

## Referências

- D. J. Gormley et al., "Corneal modeling", *Cornea* 7 no.1 (1988), 30-35.
- A. Placido, "Novo instrumento de Exploração da Cornea", *Periodico d'Oftalmologica Practica*, 5 (1880), 27-30.
- R. B. Mandel and R. St. Helen, "Mathematical model of the corneal contour", *Brit. J. Physiol. Optics* 26 (1971), 183-197.
- R. J. Mammone et al., "3-D Corneal Modeling System" *IEEE Transaction on Biomedical Engineering* 37 no.1 (1990), 66-72.
- G. Westheimer, "A Method of Photoelectric Keratometry", *Amer. J. Optom.*, 42 (1965), 315.
- S. B. Hannush et al., "Accuracy and precision of keratometry, photokeratometry, and corneal modeling on calibrated steel balls.", *Arch Ophthalmol.*, 107 (1989), 1235-1239.
- J. Y. Wang, D. A. Rice, S. D. Klyce "A new reconstruction algorithm for improvement of corneal topographical analysis", *Refract Corneal Surg.* 5 (1987), 379-387.
- N. Maeda, S. D. Klyce, M. K. Smolek, "Neural Network Classification of Corneal Topography", *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 36, no.7 (1995), 1327-1335.