

Feridas: Um desafio para a saúde pública

Antonio Eduardo de Aquino Junior, Fernanda Mansano Carbinatto
Vitória Helena Maciel Coelho, Vanderlei Salvador Bagnato

FERIDAS
UM DESAFIO PARA A SAÚDE PÚBLICA

Instituto de Física de São Carlos
Universidade de São Paulo

Feridas: Um desafio para a saúde pública

Copyright © dos autores

Todos os direitos garantidos. Qualquer parte desta obra pode ser reproduzida, transmitida ou arquivada desde que levados em conta os direitos dos autores.

Antonio Eduardo de Aquino Junior; Fernanda Mansano Carbinatto; Vitória Helena Maciel Coelho; Vanderlei Salvador Bagnato (Organizadores)

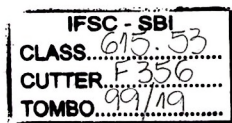
Feridas – Um desafio para a saúde pública. São Carlos: Editora, 2019. 238p.

ISBN 978-85-5510-044-4

Capa: Antonio Eduardo de Aquino Junior

Editor: Antonio Eduardo de Aquino Junior

Impressão e Acabamento: Gráfica IFSC/USP



CAPÍTULO IV

INTERAÇÃO DAS FONTES DE LUZ COM TECIDO BIOLÓGICO

¹Camila de Paula D'Almeida, ¹Sebastião Pratavieira, ²Marlon Rodrigues Garcia

¹Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil
(*Instituto Nacional de Óptica Básica e Aplicada para Geração de Tecnologias para Ciências da Vida/INCT – Fapesp-CNPq*)

²Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil.

INTRODUÇÃO

O entendimento da interação da luz com o tecido biológico é fundamental para o estudo e compreensão do mecanismo de funcionamento da luz que atua no tratamento de lesões de pele. Nesse sentido, para entendermos como a luz interage com o tecido, é importante que voltemos para os conceitos mais básicos que fundamentam os objetos dessa interação. Para isso, vamos entender o que de fato é a luz e o que é, em essência, o tecido biológico. Para tanto, começaremos com a luz.

Ao longo da Idade Média, enquanto o ocidente vivia o período de pouco avanço científico, no oriente foram desenvolvidos estudos fundamentais na área da óptica, os quais foram de grande importância para estudos mais conhecidos que se iniciaram durante o século XVII, quando cientistas como Descartes, Newton e Huygens se preocuparam em estudar a natureza da luz.

Inicialmente a luz era entendida como um fenômeno constituído de pequenas partículas, que viajariam em alta velocidade e que se comportariam de acordo com as leis da mecânica clássica, assim como os objetos macroscópicos que estamos acostumados a ver no cotidiano. A maioria dos fenômenos mais básicos relacionados com a luz eram explicados por essa teoria, no entanto, algumas perguntas ainda permaneciam sem respostas. Para sustentar explicações para esses casos, existia outra teoria, que enxergava a luz como uma onda.

Atualmente sabemos que a luz possui um comportamento dual: a reconhecemos como uma onda eletromagnética - ou seja, uma variação oscilatória de campos elétricos e magnéticos - que por vezes se comporta como partículas, os chamados fótons - os quais atuam de uma forma distinta àquela prevista pela mecânica clássica. Apesar da aparente estranheza, esse caráter dual é o que permite que tal fenômeno seja melhor descrito de acordo com a situação estudada.

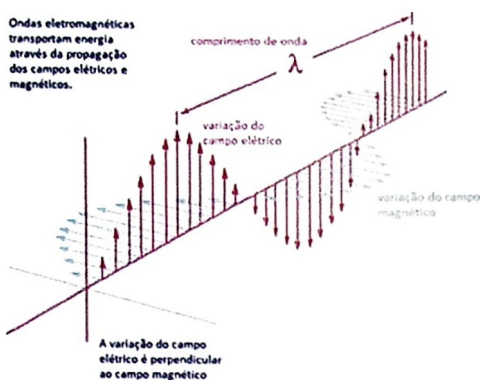


Figura 1: Ilustração de uma onda eletromagnética de comprimento de onda λ , com suas componentes de campo elétrico e magnético.

Usualmente descrevemos a luz de acordo com suas características oscilatórias, de modo que representamos uma determinada cor por meio de uma onda caracterizada por intensidade, comprimento de onda (λ) e frequência.

A frequência de uma onda é um parâmetro elementar, uma vez que está relacionado diretamente com a energia transportada. Quanto maior a frequência, mais oscilações existem em uma determinada distância e, portanto, menor é o comprimento de onda – caracterizado pela distância entre picos ou vales consecutivos. Em unidades internacionais, a frequência é dada em Hertz (sendo que 1 Hertz = 1/segundo).

As diferentes cores da luz se diferem pelo valor de energia que carregam. Dessa forma, cada cor é caracterizada por uma frequência ou comprimento de onda específico. É comum que fontes de luz emitam radiações com diferentes frequências, caracterizando um amplo espectro de emissão.

Chamamos de espectro o gráfico que expõe o conteúdo da luz em termos de frequência. É importante notar que o espectro de radiação eletromagnética é muito amplo e contém frequências da ordem de 10^{-12} metro até maiores que 10^3 metros (1 km). Por ser tão grande, é dividido em diferentes regiões, de acordo com as propriedades das ondas de cada uma delas. A luz visível ao ser humano corresponde somente à faixa espectral entre 400 nm e 720 nm, ou seja, é da ordem de centenas de TeraHertz (sendo 1 THz = 10^{15} Hz). E é somente a essa estreita faixa e seus valores mais próximos que nos atentaremos neste capítulo.

Feridas: Um desafio para a saúde pública

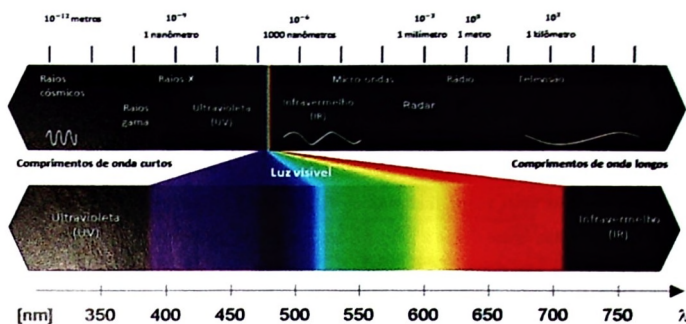


Figura 2: Espectro de ondas eletromagnéticas, com detalhes na faixa de frequências correspondente à luz visível.

Apesar da natureza da luz ter sido estudada com mais detalhes somente a partir do século XVII, ela compõe a natureza de nosso universo e é imprescindível para a presença de vida humana na Terra. De forma que nós sempre tivemos contato com a luz, tendo o Sol como principal fonte. Outros exemplos cotidianos de fontes naturais podem ser encontrados no fogo, presente em fogueiras e velas.

Além das fontes de luz natural, existem também as fontes de luz artificial, que são os dispositivos desenvolvidos com diferentes propriedades e capacidades de emissão. Exemplo disso são as primeiras fontes de luz elétrica: as lâmpadas incandescentes, que geram luz a partir do aquecimento de um filamento e produzem um espectro bastante amplo que dão a elas uma coloração amarelada. Outro dispositivo óptico, inicialmente desenvolvido na década de 1960, é o laser, que permite a emissão de luz intensa de frequências bem definidas, com raios luminosos que se propagam paralelamente uns aos outros, produzindo um feixe espacialmente estreito. Mais recentemente começaram a ser produzidos também os LEDs (diodos emissores de luz) que produzem a luz a partir das características do material de que são feitos. Estes possuem cores específicas e, usualmente, são economicamente mais viáveis que a maioria dos lasers.

Tendo compreendido o que é a luz e sabendo de onde ela provém, podemos agora nos atentar à matéria que forma o tecido biológico, para assim, entender a interação entre ela e a radiação luminosa.

Procurando por elementos mais fundamentais, podemos observar o ser humano como um organismo, formado por sistemas, compostos por tecidos, que por sua vez são constituídos de células, formadas por organelas, que são essencialmente um conjunto de átomos. Simplificadamente, podemos considerar que somos um grande conjunto de átomos, assim como toda a matéria existente ao nosso redor. Dessa forma, entender a interação da luz no tecido é basicamente compreender como essa radiação se comporta em um conjunto específico de átomos

e moléculas. Os fenômenos que acontecem no tecido biológico, portanto, não são diferentes daqueles que ocorrem em amostras inanimadas, no entanto, a forma com que eles ocorrem depende das características que fazem desse conjunto de moléculas um tecido humano.

Ao ser incidida em um tecido biológico, ou se propagar em seu interior, a luz pode interagir de diversas maneiras. Uma delas é a reflexão especular, fenômeno no qual a luz, ao incidir em uma interface entre dois meios distintos, muda sua direção de propagação, retornando para o meio de onde ela veio, como ilustrado na Figura 3. Esse tipo de reflexão pode acontecer, por exemplo, na interface entre o ar e a pele, ou entre camadas distintas de um tecido.

Quando a luz não é refletida e consegue adentrar no tecido, outras interações podem ocorrer, como o espalhamento ou a absorção da luz. No caso do espalhamento, o tecido biológico interage com a luz de maneira a mudar sua direção de propagação (Figura 3). Esse fenômeno se dá quando a luz interage com os chamados espalhadores, que podem ser desde organelas a paredes celulares. Já a absorção ocorre quando as moléculas chamadas de cromóforos absorvem um fóton (Figura 3), fazendo com que ele pare de se propagar, e sua energia seja transferida para a molécula que o absorveu.

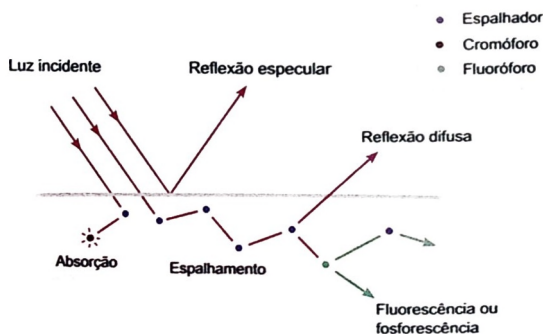


Figura 3: Diagrama esquemático mostrando os fenômenos: reflexão especular, absorção, espalhamento, reflexão difusa, fluorescência e fosforescência.

Ao espalhar no tecido, a luz pode retornar para fora do tecido (retroespalhamento), dando origem a chamada reflexão difusa (Figura 3). Doutra modo, ao ser absorvida, o cromóforo que a absorveu (recebendo a energia do fóton) pode tornar a devolver a energia absorvida de maneira radiativa, com a emissão de um fóton. Esse processo é chamado de luminescência, que pode ser caracterizado em fluorescência ou em fosforescência. As moléculas que são capazes de realizar esse tipo de emissão de luz são chamadas de fluoróforos. Na Figura 4 se apresentam os espectros de absorção dos principais fluoróforos encontrados em tecidos biológicos.

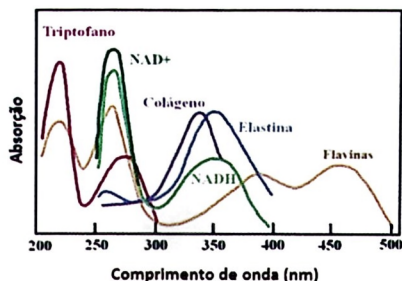


Figura 4: Espectro de absorção dos principais fluoróforos de tecidos biológicos, para as regiões de ultravioleta à azul.

Quanto mais interações a luz sofre com a matéria, seja por espalhamento ou por absorvância, menos ela penetra na mesma. Dessa maneira, baixos coeficientes de espalhamento e de absorção (grandezas físicas diretamente relacionadas ao espalhamento e a absorção, respectivamente), estão relacionados a uma maior penetração da luz no tecido. Sendo assim, podemos definir o coeficiente de atenuação (ou coeficiente de extinção), que está relacionado com a atenuação da luz propagada no tecido, sendo este a soma dos coeficientes de absorção e de espalhamento.

Diferentes moléculas possuem diferentes coeficientes de absorção para diferentes comprimentos de onda. Em outras palavras, absorção da luz pelo tecido depende do comprimento de onda da luz incidente, o que gera a chamada janela óptica, que são regiões em que a luz tem maior penetração em tecidos biológicos (Figura 5), com uma pronunciada penetração em torno dos comprimentos de onda entre 600 nm a 1000 nm.

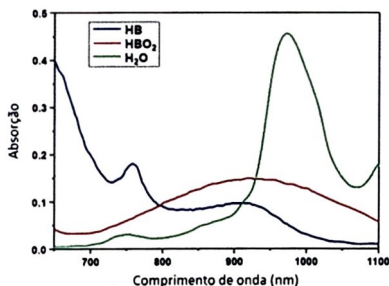


Figura 5: Espectro de absorção dos principais cromóforos dos tecidos biológicos na região do infravermelho próximo.

Feridas: Um desafio para a saúde pública

Para o caso da região do visível, os maiores absorvedores de luz em tecidos biológicos são as moléculas de hemoglobina (principal absorvedor na derme) e melanina (principal absorvedor na epiderme). Ambas as moléculas possuem picos de absorção na região do ultravioleta-violeta (Figura 6). Já para o caso do infravermelho, os principais absorvedores são as moléculas de água e a gordura (Figura 7).

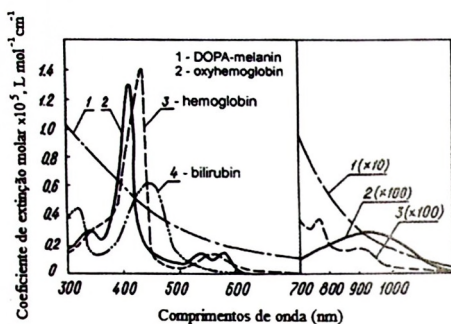


Figura 6: Coeficiente de extinção molar para soluções com os maiores absorvedores de luz da pele humana: DOPA-melanina, oxihemoglobina, hemoglobina e bilirrubina.

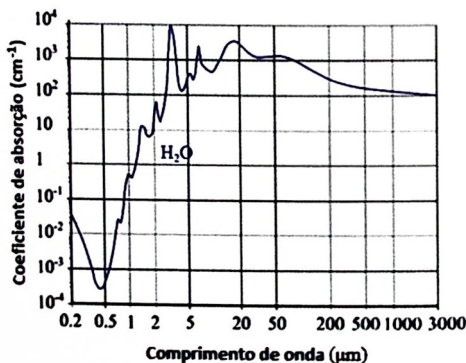


Figura 7: Espectro de absorção da água para comprimentos de onda de ultravioleta até infravermelho.

No caso do espalhamento, há uma grande variação da quantidade de luz espalhada para diferentes cores de luz. Para comprimentos de onda menores (região do ultravioleta e azul, por exemplo) o espalhamento de luz é significativamente maior. Já para os comprimentos de onda maiores (região do vermelho e infravermelho), o espalhamento de luz é menor, fazendo com que a luz consiga se propagar por uma distância maior em meios com espalhadores, como o caso de tecidos biológicos. Dessa maneira, com relação ao espalhamento, a luz com comprimentos de

Feridas: Um desafio para a saúde pública

onda superiores consegue penetrar mais em tecidos biológicos do que a luz com comprimentos de onda inferiores.

Para o caso da pele, os maiores responsáveis pelo espalhamento de luz são as proteínas filamentosas. Dessas proteínas, a queratina é o constituinte majoritário da epiderme, sendo o maior responsável pelo espalhamento de luz nessa região. Já o colágeno, principal proteína filamentosa da derme, é o mais expressivo espalhador de luz da região dérmica.

Definições:

- **Irradiância** (ou intensidade de luz), de uma dada fonte de luz (denotada pela letra I , e normalmente medida em Watts/cm²) é a potência da luz (ou potência óptica, em Watts) por unidade de área (em cm², por exemplo). Essa grandeza está relacionada ao quanto de energia que a luz pode entregar, por intervalo de tempo, em uma dada área irradiada.
- **Dose de luz** (ou fluência, F) é a energia fornecida por unidade de área, normalmente medida em Joules/cm². Essa grandeza física também pode ser chamada de exposição radiante.
- **Energia** (E) é medida em Joules, e está relacionada à capacidade de se promover uma ação ou de se realizar trabalho.

Exemplo: Se irradiarmos uma área $A = 2 \text{ cm}^2$ de pele com uma fonte de luz cuja irradiância é $I = 100 \text{ mW/cm}^2$, durante um período $t = 10$ minutos, podemos calcular o seguinte:

- Lembrar que:

$$\text{Watt} = \frac{\text{Joule}}{\text{segundo}},$$

sendo Watt uma unidade de potência, Joule uma unidade de energia, e segundo uma unidade de tempo.

- Dividindo-se a equação acima pela unidade de área (cm²), teremos:

$$\frac{\text{Watt}}{\text{cm}^2} = \frac{1 \text{ Joule}}{\text{cm}^2 \text{ segundo}},$$

sendo Watt/cm² a unidade da irradiância (I), ou seja, a potência dividida pela área. Se multiplicarmos essa última equação, dos dois lados da igualdade, pela unidade segundo, teremos:

$$\frac{\text{Watt}}{\text{cm}^2} \text{ segundo} = \frac{\text{Joule}}{\text{cm}^2},$$

que é a unidade de fluência, ou dose de luz (energia por unidade de área).

Multiplicando-se a última equação pela unidade de área (cm²), fica:

$$\text{Watt} \times \text{segundo} = \text{Joule},$$

Feridas: Um desafio para a saúde pública

que é a unidade para energia (E).

- A fluência (F) ou dose de luz entregue no tecido biológico pode ser calculada multiplicando-se a irradiância (I) pelo tempo de exposição à luz (t), em segundos:

$$F = I \times t = 100 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2} \times 10 \text{ min.} = 100 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2} \times 10 \times 60 \text{ segundos}$$
$$F = I \times t = 100 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2} \times 600 \text{ s} = 100 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{cm}^2} \times 600 \text{ s} = \frac{100}{10^3} \times 600 \frac{\text{W}}{\text{cm}^2} \text{ s}$$
$$F = I \times t = \frac{60000}{1000} \frac{\text{W}}{\text{cm}^2} \text{ s} = 60 \frac{\text{W}}{\text{cm}^2} \text{ s}$$
$$F = 60 \frac{\text{Joule}}{\text{cm}^2} .$$

- A energia (E , medida em Joule) da luz entregue ao tecido pode ser calculada multiplicando-se a dose de luz (Joule/cm²) pela área na qual a luz foi entregue (2 cm²):

$$E = F \times A = 60 \frac{\text{Joule}}{\text{cm}^2} \times 2 \text{ cm}^2 = 120 \text{ joules.}$$

Para se medir a irradiância emitida por uma dada fonte de luz, é possível se utilizar um medidor de potência, como mostrado na Figura 8. No caso da irradiância, que é potência óptica por área, devemos medir a potência com o medidor, e então dividir o valor encontrado pela área em que a luz é irradiada. Para o caso em que a fonte de luz é aplicada em contato com o tecido biológico, é necessário se fazer a medição da potência da fonte de luz, também em contato, como mostrado na Figura 8(b), e dividir o valor da potência encontrada pela área de emissão de luz do equipamento, mostrada na Figura 8(b).

Para aplicações em que a fonte de luz fica a uma distância d do tecido biológico, é necessário se medir a potência, também à mesma distância d do sensor de potência (Figura 8(a), e dividir o valor da potência encontrada pela área irradiada. Vale notar que, para esse último caso (Figura 8(a), se o feixe de luz ficar maior que a área do sensor (área que efetivamente mede a potência), o valor da área que será utilizada no cálculo da irradiância será a área do sensor (área mostrada na Figura 8(a)).

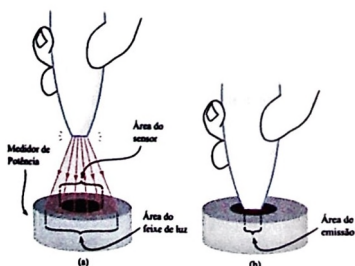


Figura 8: Medida de potência óptica de uma fonte de luz (a) à distância e (b) em contato.

REFERÊNCIAS

Bagnato VS. **Luz para o progresso do conhecimento e suporte da vida.** 2015;4206.

Lister T, Wright PA, Chappell PH, Lister T, Wright PA, Chappell PH. **Optical properties of human skin.** 2018;

Yoon G, Welch AJ, Motamedi M, Gemert MCJ. **Development and Application of Three-Dimensional Light Distribution Model for Laser Irradiated Tissue.** 1987;(10).

Pu Y, Alfano RR. **Optical biopsy - a new armamentarium to detect disease using light Yang.** 2018;(March 2015).