

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS: Intensidade das Fontes, Absorção Ótica e Dureza das Amostras

#### 1 - INTENSIDADE DAS FONTES LUMINOSAS

Inicialmente caracterizamos cada uma das fontes luminosas através de seus espectros de emissão em função do comprimento de onda. Os resultados estão projetados nas Figuras 8 até 12.

Observamos que em todos os espectros o intervalo de comprimento de onda no qual a intensidade de emissão é máxima está localizado na faixa visível do espectro eletromagnético. Analisando os espectros, observamos que os correspondentes intervalos de intensidade máxima, para cada fonte polimerizadora, são aproximadamente:

- Visilux 2: 430 nm - 470 nm
- Resilux: 430 nm - 490 nm
- Fibralux: 465 nm - 485 nm
- Translux III: 445 nm - 495 nm
- Primelite: 450 nm - 480 nm

Cada espectro de emissão nos forneceu uma curva experimental, que foi ajustada computacionalmente a uma curva teórica, através do somatório de funções gaussianas. O ajuste foi feito manualmente em um programa desenvolvido no Mathcad for Windows. Este procedimento foi feito visando pesquisas futuras.

Utilizamos a seguinte função gaussiana,

$$y = y_0 \cdot e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2s^2}} \quad (5)$$

onde  $y_0$  é a amplitude máxima;  $x_0$  é o valor de  $x$  (comprimento de onda) para o qual temos o pico de altura máxima da gaussiana (em nm);  $e, \sqrt{2} \cdot s$  é a meia largura, à meia altura do pico máximo da gaussiana, que foi representada no programa por  $w_0$ .

Neste trabalho utilizamos uma soma de funções gaussianas, onde  $x$  varia o intervalo de comprimento de onda do espectro de emissão da fonte de luz. O programa atribuía a  $x$ , automaticamente, os valores de comprimento de onda do espectro de emissão da fonte, e mostrava a curva teórica. Era comparada a curva teórica com a curva experimental através dos valores da diferença entre as áreas das duas curvas. Os parâmetros  $y_0$ ,  $x_0$  e  $w_0$  foram ajustados manualmente.

Os resultados dos ajustes estão projetados nas Figuras 13 até 17. As funções das curvas teóricas que caracterizam cada espectro de emissão são:

- Visilux 2

$$Y = 0,6 e^{-\frac{(x-395)^2}{10}} + 0,35 e^{-\frac{(x-403)^2}{30}} + 2 e^{-\frac{(x-418)^2}{390}} + 2,7 e^{-\frac{(x-446,7)^2}{540}} + 2,25 e^{-\frac{(x-476)^2}{340}} + 1,27 e^{-\frac{(x-492)^2}{70}}$$

- Resilux

$$Y = 0,7 e^{-\frac{(x-394)^2}{265,3}} + 1,35 e^{-\frac{(x-418)^2}{390}} + 1,75 e^{-\frac{(x-442)^2}{357}} + 1,8 e^{-\frac{(x-468,974)^2}{292}} + 2,17 e^{-\frac{(x-491)^2}{190}}$$

- Fibralux

$$Y = 0,23 e^{-\frac{(x-392)^2}{10}} + 1,05 e^{-\frac{(x-410)^2}{330}} + 2,5 e^{-\frac{(x-443,2)^2}{550}} + 1,645 e^{-\frac{(x-465)^2}{200}} + 3,29 e^{-\frac{(x-485)^2}{260}}$$

- Translux

$$Y = 1,4e2 \frac{-(x-400)^2}{710} + 2,1e \frac{-(x-429)^2}{600} + 3,236e \frac{-(x-464,5)^2}{700} + 2,48e \frac{-(x-496)^2}{330} + 0,2e \frac{-(x-550)^2}{1000}$$

- Primelite

$$Y = 1,1e \frac{-(x-405)^2}{150} + 2,8e \frac{-(x-427)^2}{250} + 1,15e \frac{-(x-494,5)^2}{196} + 4,7e \frac{-(x-457,5)^2}{388,85} + 2,5e \frac{-(x-480,7)^2}{110}$$

Como podemos observar pelas Figuras de 13 a 17, os ajustes são muito bons. Comprovamos isso expressando o erro em função das áreas das curvas experimental e teórica. Obtivemos os seguintes percentuais de diferenças entre as duas áreas:

- Visilux 2: -1,232 %
- Resilux: 0,000 %
- Fibrilux: -0,002 %
- Translux III: 0,008 %
- Primelite: 0,000 %

O sinal negativo indica que a área da curva teórica é maior que da curva experimental.

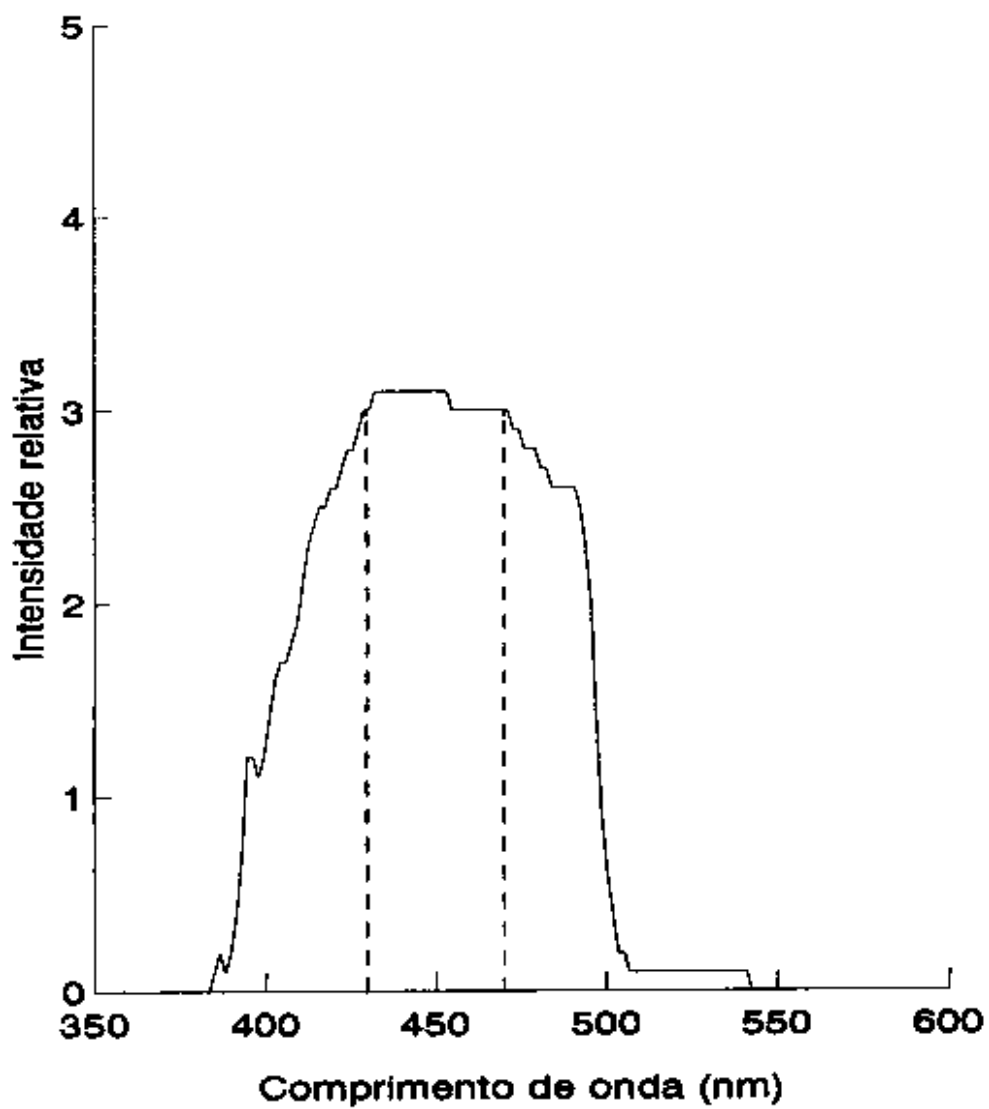


Figura 8. Espectro de emissão da fonte luminosa VISILUX 2, mostrando o intervalo de intensidade máxima, aproximadamente entre 430-470 nm.

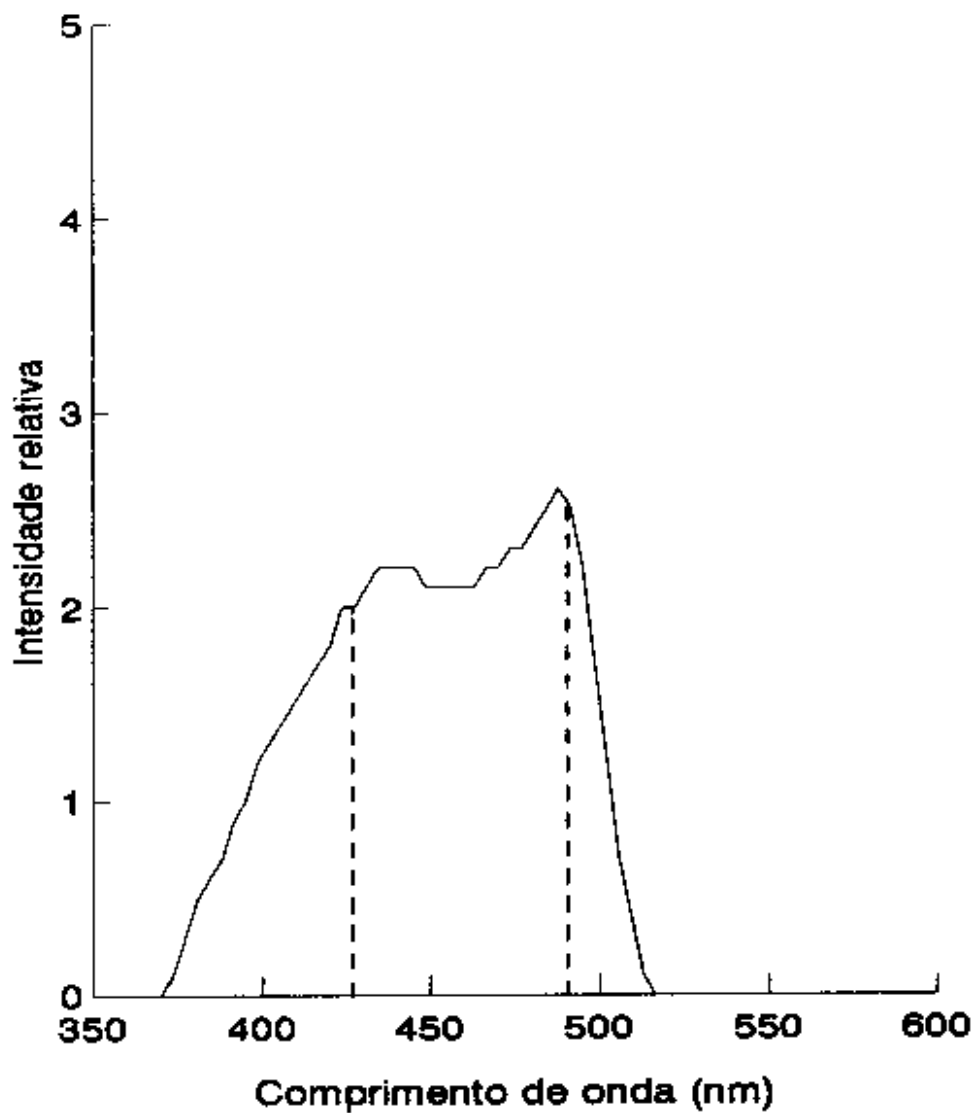


Figura 9. Espectro de emissão da fonte luminosa RESILUX, mostrando o intervalo de intensidade máxima, aproximadamente entre 430-490 nm.

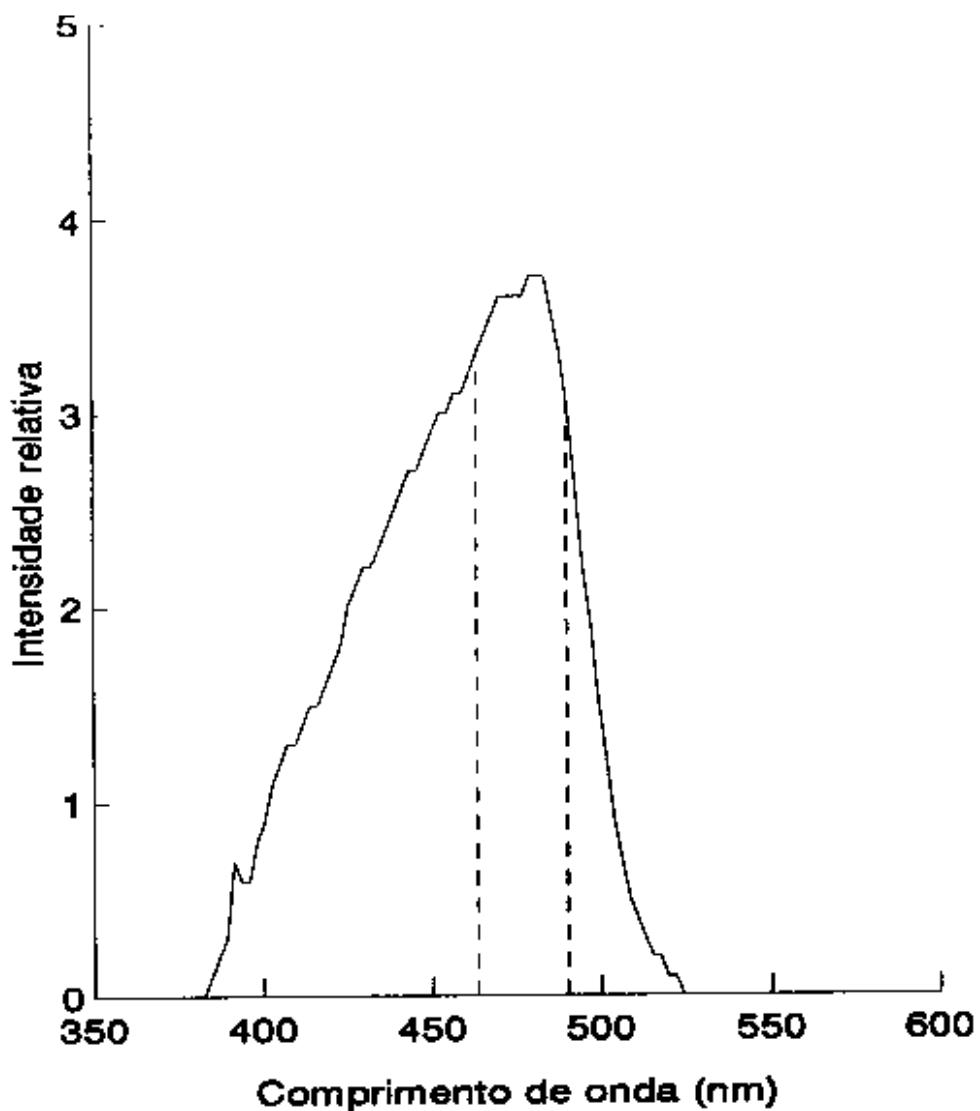


Figura 10. Espectro de emissão da fonte luminosa FIBRALUX, mostrando o intervalo de intensidade máxima, aproximadamente entre 465-485 nm. Note que neste caso, temos um pico máximo definido, ao redor de 480 nm.

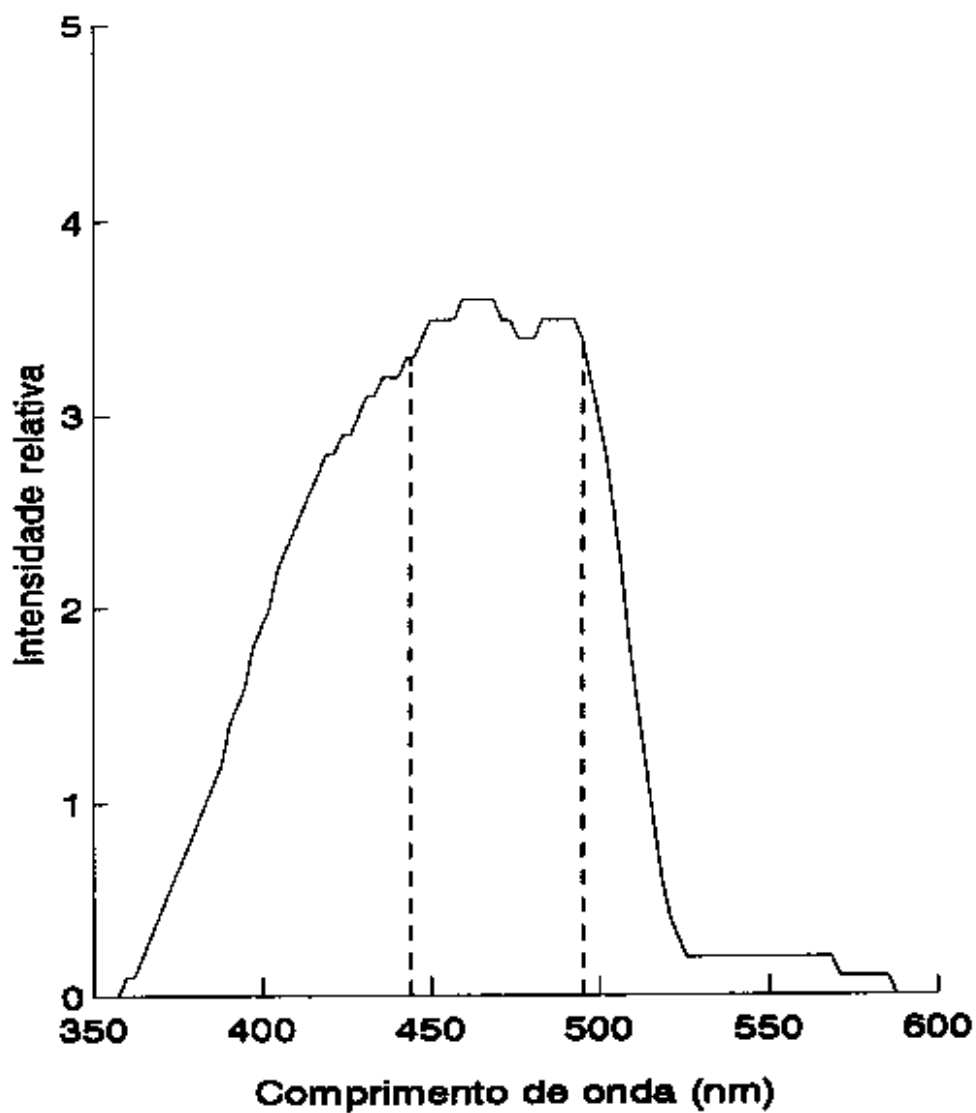


Figura 11. Espectro de emissão da fonte luminosa TRANSLUX III, mostrando o intervalo de intensidade máxima, aproximadamente entre 445-495 nm.

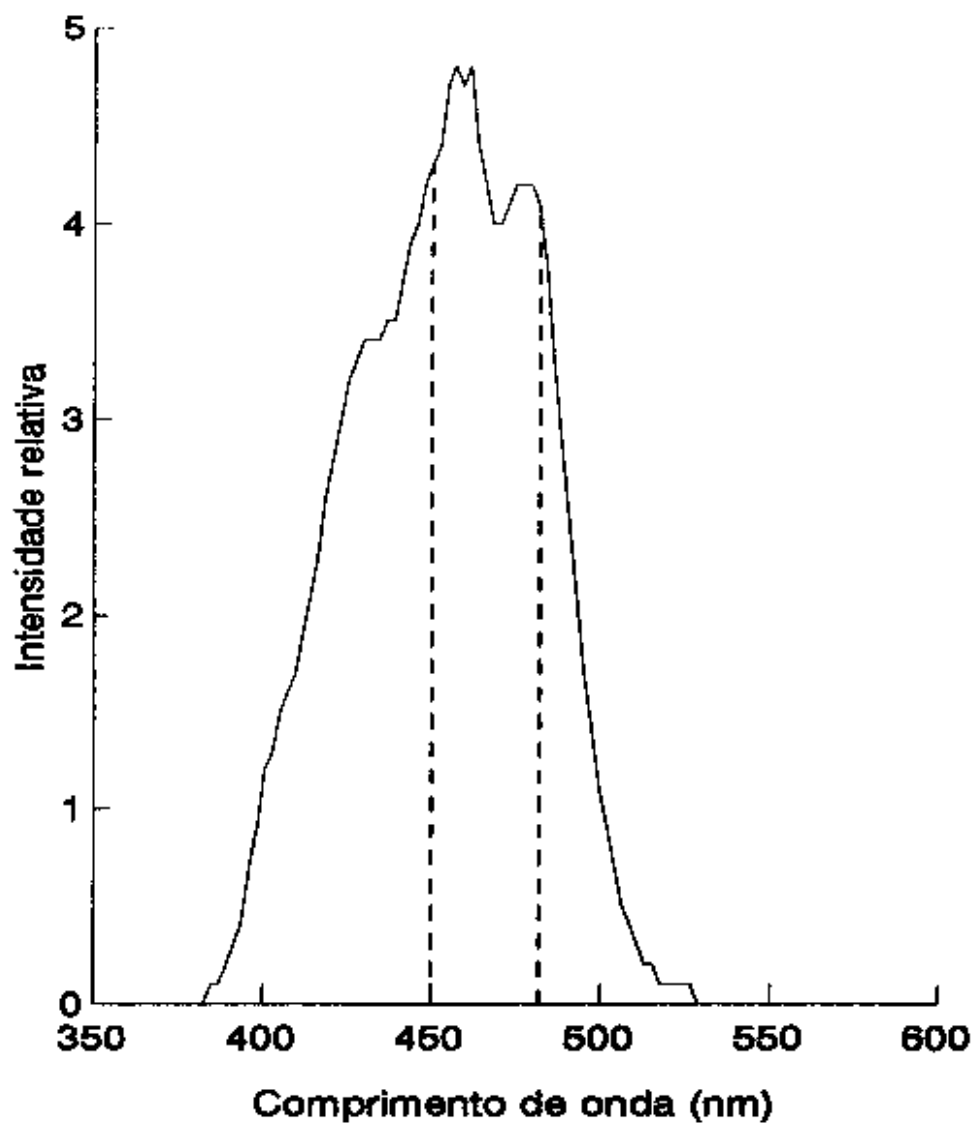


Figura 12. Espectro de emissão da fonte luminosa PRIMELITE, mostrando o intervalo de intensidade máxima, aproximadamente entre 450-480 nm. Também aqui temos um pico máximo definido ao redor de 460 nm.



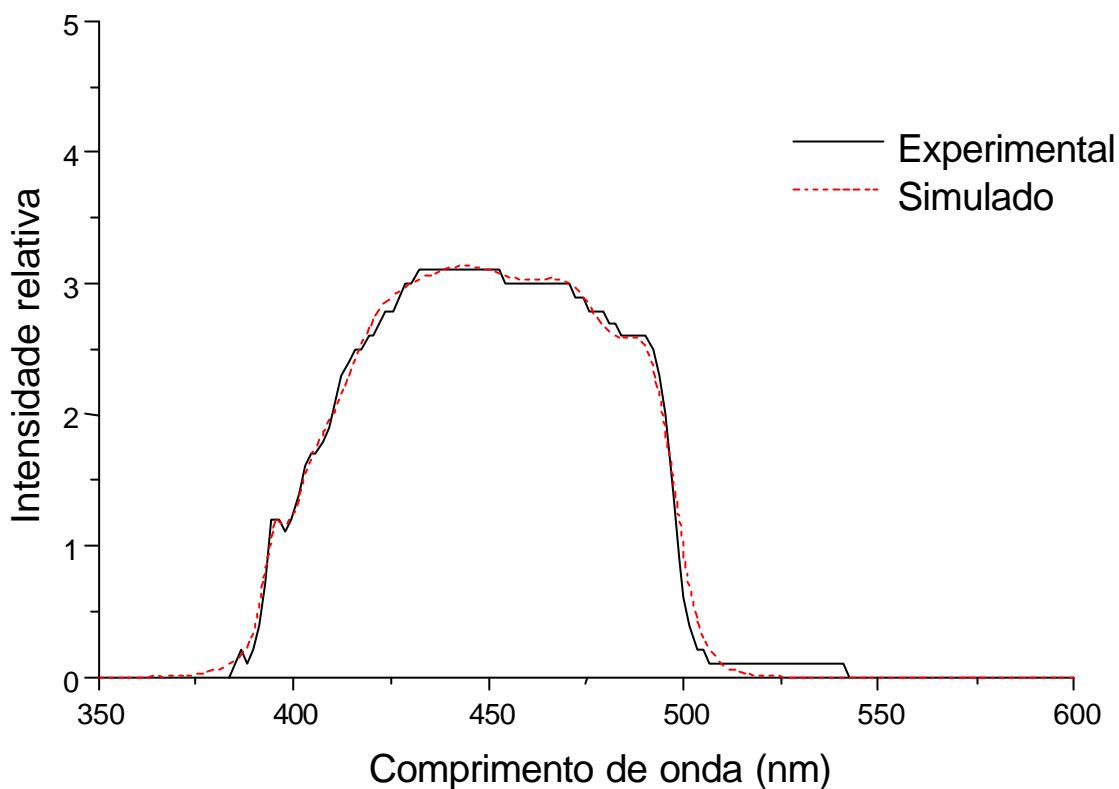


Figura 13. Espectro de emissão da fonte luminosa VISILUX 2 (linha cheia), e a curva experimental ajustada (pontos) através do somatório de funções gaussianas. Cada curva tracejada corresponde a uma gaussiana distinta; foram utilizadas até 6 gaussianas. A intensidade refere-se a unidades arbitrárias, normalizadas para todas as fontes medidas.

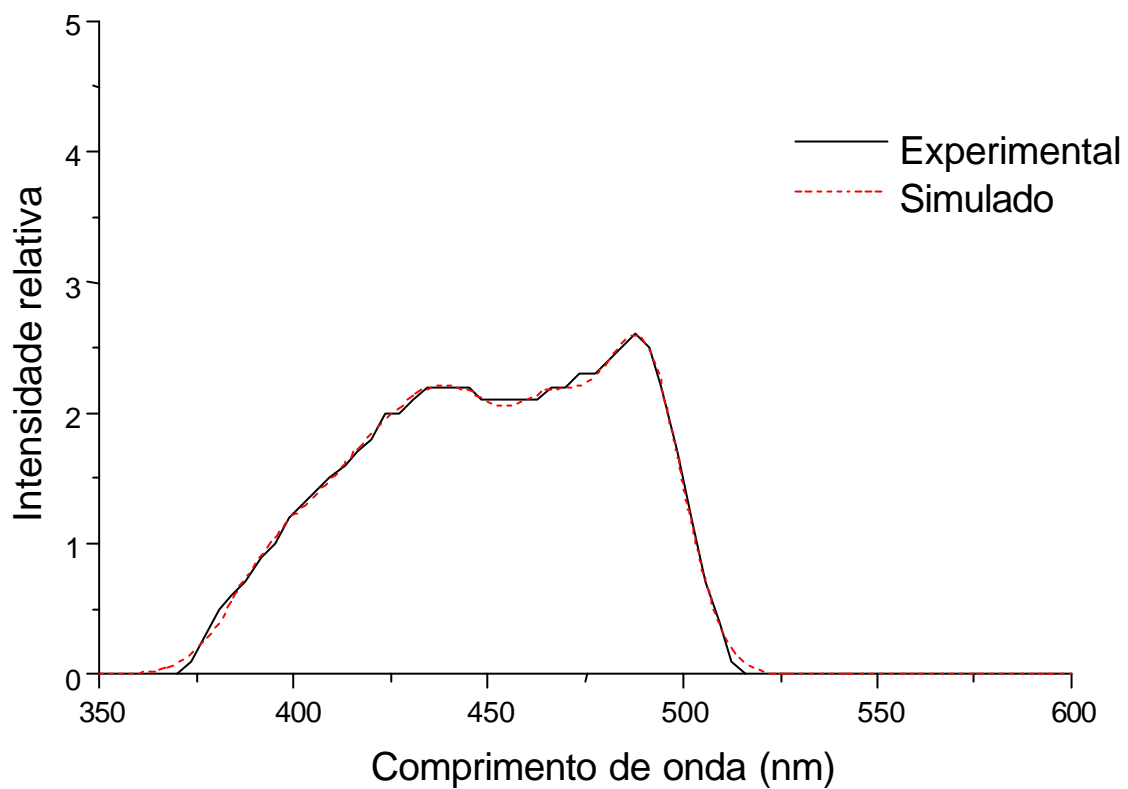


Figura 14. Espectro de emissão da fonte luminosa RESILUX, e a curva experimental ajustada com o somatório de funções gaussianas.

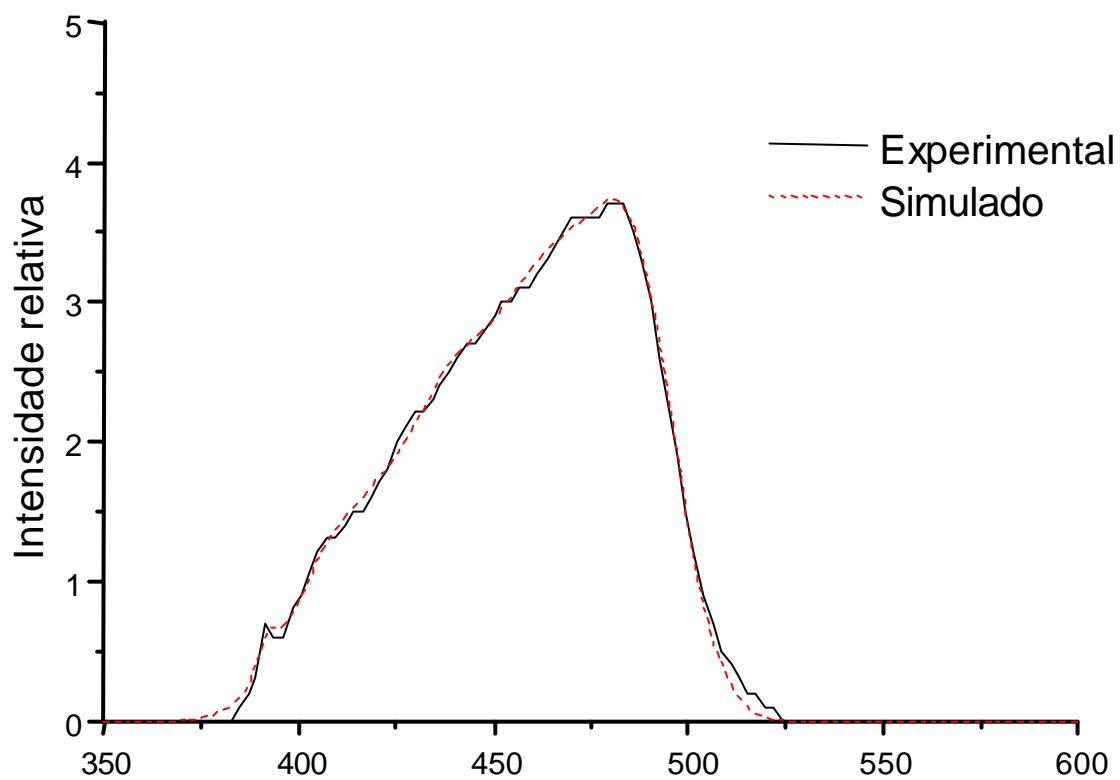


Figura 15. Espectro de emissão da fonte luminosa FIBRALUX, e a curva experimental ajustada com o somatório de funções gaussianas.

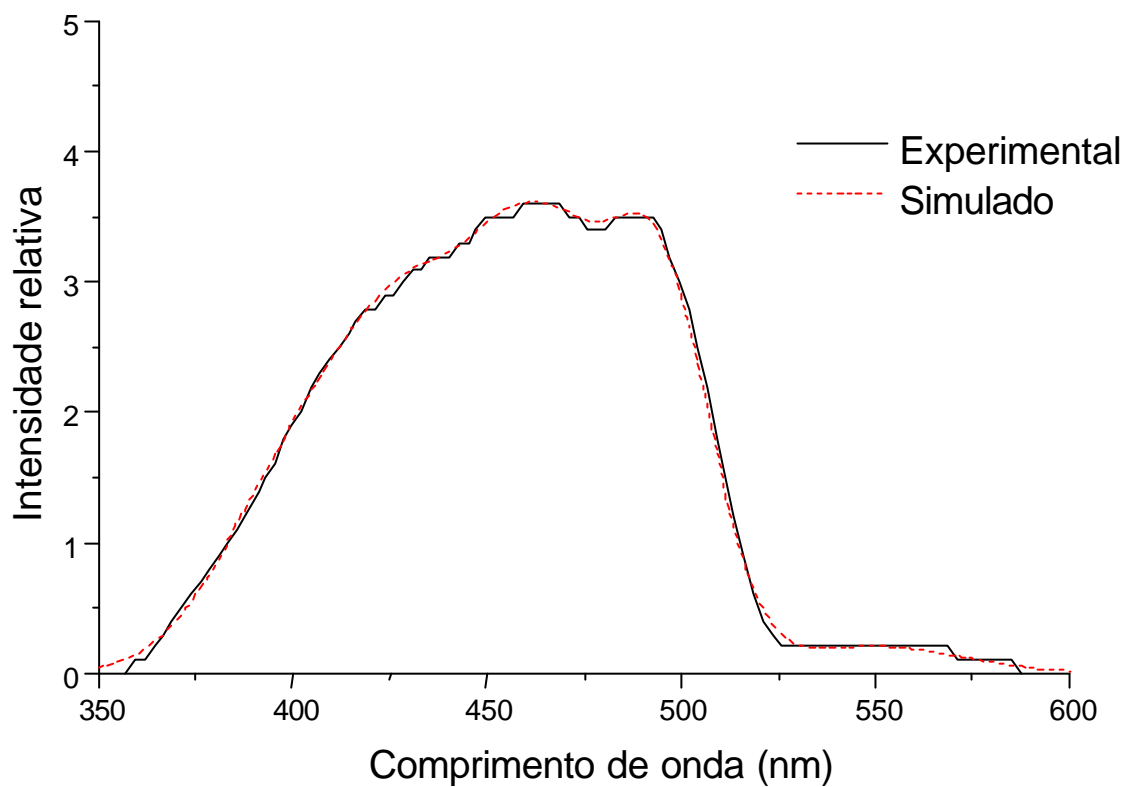


Figura 16. Espectro de emissão da fonte luminosa TRANSLUX III, e a curva experimental ajustada com o somatório de funções gaussianas.

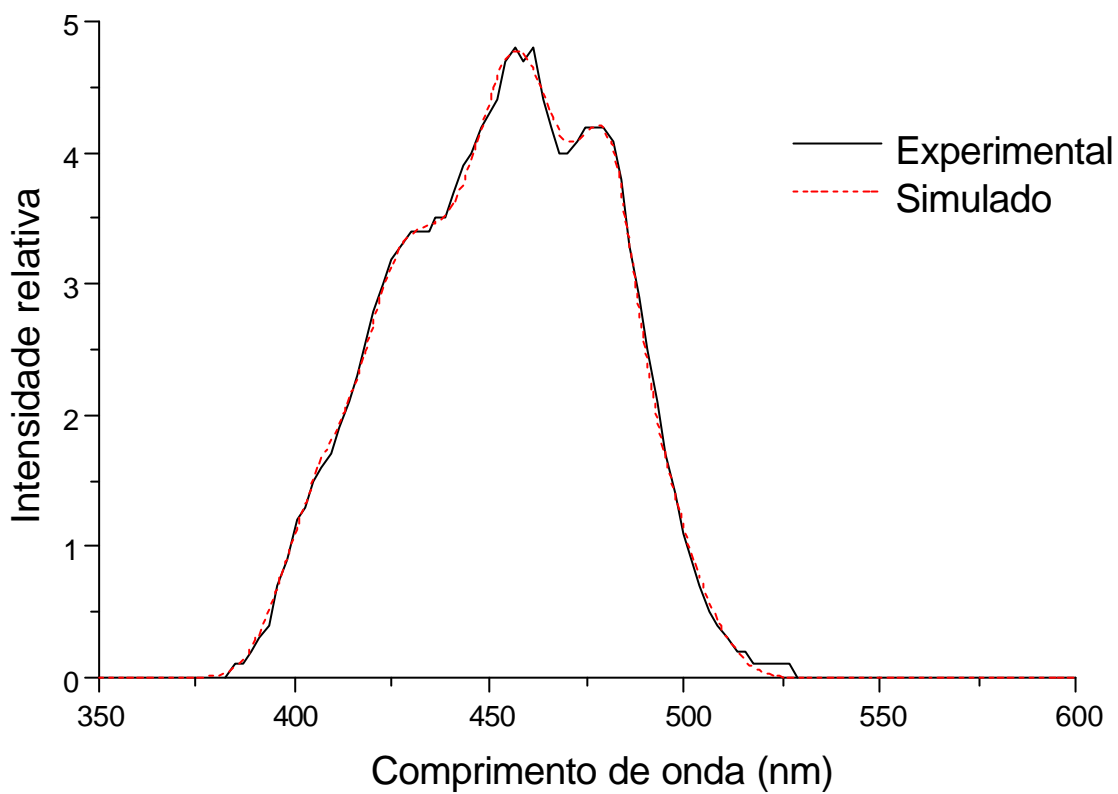


Figura 17. Espectro de emissão da fonte luminosa PRIMELITE, e a curva experimental ajustada com o somatório de funções gaussianas.

## 2 - ABSORÇÃO ÓTICA DA AMOSTRA

O espectro de absorção ótica da resina (Figura 18) foi obtido com espectrofotômetro de absorção, varrendo o intervalo de 600-350 nm do espectro eletromagnético.

A varredura teve um tempo de duração de 170 segundos, sendo utilizada uma única amostra durante todo o tempo da medida.

Após a varredura, a amostra foi retirada do compartimento da amostra do espectrofotômetro, e observamos que não houve polimerização.

Preparamos nova amostra para verificar a cinética de polimerização, e obtivemos sete novos espectros de emissão, com os respectivos intervalos de tempo entre cada um deles: 40 segundos, 1, 5, 15, 30, 45 e 60 minutos. Observamos que não houveram modificações nos espectros e que o material da amostra não havia polimerizado. Isto significa que a intensidade da luz utilizada para obtenção dos espectros era baixa e interferia muito pouco na polimerização da amostra.

## 3 - AMOSTRAS

### a) Lamínulas

Os valores máximo e mínimo da intensidade da radiação transmitida fornecidos pelo detetor exposímetro, estão listados na Tabela 1. A média aritmética entre os valores máximo e mínimo da radiação transmitida fornecidos pelo exposímetro estão listados na Tabela 2.

Na Figura 19 mostramos um feixe de luz de intensidade  $I_0$ , homogêneo, incidindo sobre uma amostra (um atenuador) de espessura  $dx$ , e a intensidade de luz transmitida  $I$ . O decréscimo da intensidade  $dI$  é proporcional ao coeficiente de atenuação linear  $\mu$ , à própria intensidade  $I$  e à espessura da amostra  $dx$ .

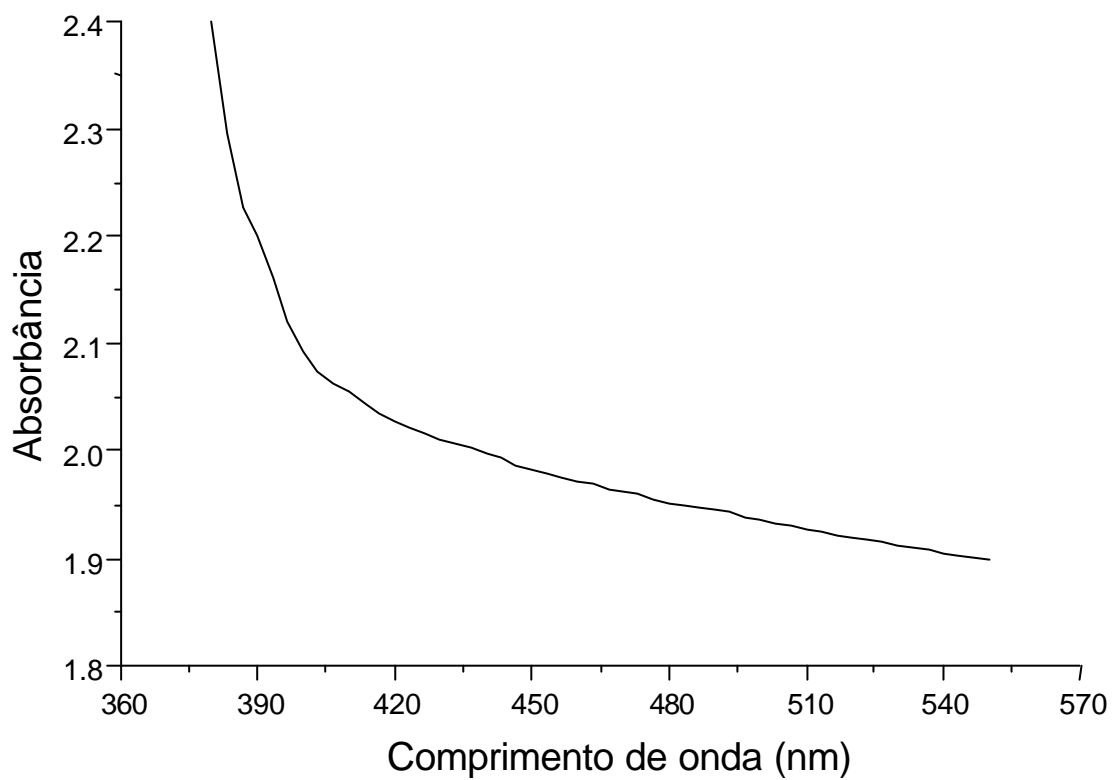


Figura 18. Espectro de absorção ótica da resina, mostrando que a absorção é maior quanto menor for o comprimento de onda, no intervalo considerado.

Tabela 1. Intervalo de variação da intensidade transmitida por cada fonte de luz captada pelo detetor exposímetro ao irradiar as lamínulas durante 40 segundos.

Espessura da lamínula(cm)	Intervalo da intensidade transmitida				
	Visilux2	Resilux	Fibralux	TransluxIII	Primelite
0,000	819-850	805-827	566-594	723-745	715-745
0,016	792-842	801-813	555-578	812-831	715-741
0,032	789-831	797-811	543-571	782-803	702-727
0,048	775-819	806-816	531-556	768-792	687-706
0,064	765-805	796-812	521-544	755-784	676-692
0,080	749-802	761-784	507-522	740-771	664-681
0,096	740-792	759-781	495-512	728-757	649-669
0,112	728-783	746-781	481-498	717-745	622-643
0,128	719-773	739-766	465-484	704-734	601-627
0,144	696-773	731-763	450-476	696-725	594-616
0,160	693-767	708-751	440-463	685-710	583-605

NOTA. Os valores da radiação transmitida referentes à espessura de 0 cm, correspondem à intensidade do feixe que incide nas lamínulas.



Tabela 2. Média aritmética entre os valores máximo e mínimo da radiação transmitida captada pelo detetor exposímetro, ao irradiar as lamínulas por 40 segundos.

Espessura da lamínula(cm)	Média aritmética da intensidade transmitida				
	Visilux2	Resilux	Fibralux	TransluxIII	Primelite
0	834,5	816,0	580,0	734,0	730,0
0,016	817,0	807,0	566,5	821,5	728,0
0,032	810,0	804,0	557,0	792,5	714,5
0,048	797,0	811,0	543,5	780,0	696,5
0,064	785,0	804,0	532,5	769,5	684,0
0,080	775,5	772,5	514,5	755,5	672,5
0,096	766,0	770,0	503,5	742,5	659,0
0,112	755,5	763,5	489,5	731,0	634,0
0,128	746,0	752,5	474,5	719,0	614,0
0,144	734,5	747,0	463,0	710,5	605,0
0,160	730,0	729,5	451,5	697,5	594,0

NOTA. Os valores da radiação transmitida referentes à espessura de 0 cm, correspondem à intensidade do feixe que incide nas lamínulas.

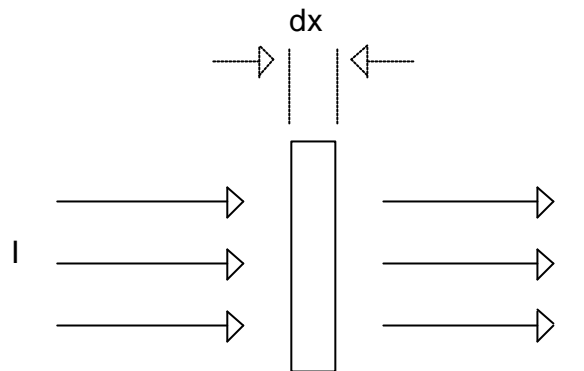


Figura 19. Diagrama mostrando luz de intensidade  $I_0$  incidindo sobre a amostra.  $I$  é a intensidade da luz depois de atravessar a amostra de espessura  $dx$ .

Como a intensidade diminui, temos:

$$dI = -\mathbf{m} \cdot I \cdot dx \quad (6),$$

e rearranjando os termos, vem:

$$\frac{dI}{I} = -\mathbf{m} \cdot dx \quad (7).$$

Pela definição de  $\mu$  (JOHNS & CUNNINGHAM), como sendo uma medida da fração de fótons que interagem com a amostra por unidade de espessura do atenuador, tem-se que este parâmetro em geral é dependente do comprimento de onda  $\lambda$  e da espessura da amostra  $x$ , ou seja,  $\mu = \mu(\lambda, x)$ . Esta dependência com  $\lambda$  e  $x$  pode ser bastante complexa

ou muito simples, conforme a natureza do material atenuador. Assumindo a "aproximação" de que  $\mu$  é uma constante, teremos:

$$\int \frac{dI}{I} = -\mathbf{m} \cdot \int dx \quad (8),$$

obtemos:

$$\ln I = -\mathbf{m} \cdot x + \ln C \quad (9).$$

Considerando a constante C como a intensidade do feixe de luz homogêneo incidente  $I_0$ , e isolando, temos:

$$\ln \left( \frac{I}{I_0} \right) = -\mathbf{m} \cdot x \quad (10)$$

o que finalmente fornece:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mathbf{m} \cdot x} \quad (11),$$

ou seja,

$$I = I_0 \cdot e^{(-\mathbf{m} \cdot x)} \quad (12).$$

Pode-se calcular o coeficiente de atenuação linear  $\mu_l$  das lamínulas através da relação 12, onde I e  $I_0$  são, respectivamente, as intensidades transmitida e incidente, conforme Tabela 2. Apesar das Figuras 8 a 12 mostrarem que o feixe de luz das fontes não é totalmente homogêneo, consideraremos o feixe como sendo homogêneo dentro do intervalo especificado nas figuras.

Para o cálculo de  $\mu_l$ , variamos a espessura  $x$  até o equivalente a 10 lamínulas. Os resultados listados na Tabela 3 correspondem às leituras de  $I$  com o detetor exposímetro.

No cálculo de  $\mu_l$  para a fonte luminosa Translux III, foi desprezado o valor da intensidade transmitida referente a espessura nula, que corresponde à intensidade do feixe que incide nas lamínulas. No caso da espessura nula, o valor da intensidade transmitida foi menor do que o valor observado para a espessura de uma lamínula, 0,016 cm. Consideramos então a intensidade do feixe de luz incidente  $I_0$  como sendo 821,5 (Tabela 2).

Tabela 3. Valores do coeficiente de atenuação linear  $\mu_l$  da lamínula.

Espessura da lamínula(cm)	$\mu_l$ (cm <sup>-1</sup> )				
	Visilux2	Resilux	Fibralux	TransluxIII	Primelite
0,016	1,325	0,693	1,472	0,000	0,171
0,032	0,931	0,463	1,264	1,123	0,671
0,048	0,958	0,128	1,354	1,080	0,979
0,064	0,955	0,231	1,335	1,022	1,017
0,080	0,917	0,685	1,498	1,047	1,026
0,096	0,892	0,604	1,473	1,053	1,066
0,112	0,888	0,594	1,515	1,042	1,259
0,128	0,876	0,633	1,568	1,041	1,352
0,144	0,886	0,614	1,565	1,008	1,304
0,160	0,836	0,700	1,565	1,023	1,289

Na Tabela 3, observamos que o valor de  $\mu_l$  para uma mesma fonte de luz varia com a espessura das lamínulas, ou seja, em nosso caso teremos que  $\mu_l = \mu_l(x)$ .

## b) Resina

Os valores máximo e mínimo da intensidade da radiação transmitida pelas amostras fornecidos pelo detetor exposímetro, estão listados na Tabela 4. A média aritmética entre os valores máximo e mínimo da radiação transmitida pelas amostras fornecidos pelo detetor exposímetro estão listados na Tabela 5.

Na irradiação da resina, utilizamos o sistema "sanduíche", como descrito no Capítulo III, Materiais e Métodos.

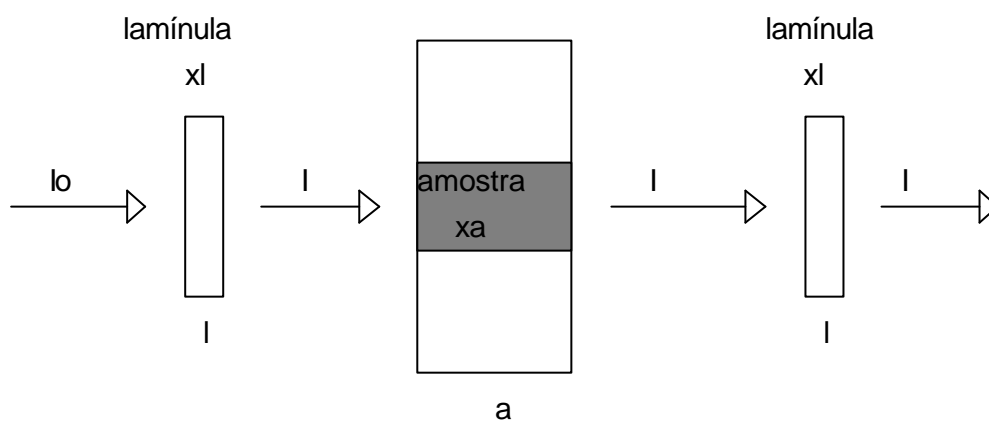


Figura 20. A intensidade de luz incidente  $I_0$ , sofre a primeira atenuação ao passar pela primeira lamínula:  $I_0 \rightarrow I_1$ . Assim sucessivamente temos:  $I_1 \rightarrow I_2$ ,  $I_2 \rightarrow I$ .

Para o cálculo do coeficiente de atenuação linear das amostras, consideramos o feixe de luz incidente homogêneo, dentro dos intervalos especificados nas Figuras de 8 a 12, como feito para as lamínulas, e assim, consideramos  $\mu$  constante.

Tabela 4. Intervalo de variação da intensidade transmitida por cada fonte de luz captada pelo detetor exposímetro, ao irradiar as amostras durante 40 segundos.

Espessura da amostra(cm)	Intervalo da intensidade transmitida				
	Visilux 2	Resilux	Fibralux	TransluxIII	Primelite
0,0	779-792	753-771	477-491	661-677	699-732
0,2	214-231	162-185	167-177	263-283	94-114
0,3	86-108	84-106	299-313	143-160	29-45
0,4	34-57	8-31	395-420	17-29	79-101

NOTA. Os valores da radiação transmitida referentes à espessura 0 cm, correspondem à intensidade do feixe que incide nas amostras.

Tabela 5. Média aritmética entre os valores máximo e mínimo da radiação transmitida captada pelo detetor exposímetro, ao irradiar as amostras durante 40 segundos.

Espessura da amostra(cm)	Média aritmética da intensidade transmitida				
	Visilux 2	Resilux	Fibralux	TransluxIII	Primelite
0	785,5	762,0	484,0	669,0	715,5
0,2	222,5	173,5	172,0	273,0	104,0
0,3	97,0	95,0	306,0	151,5	37,0
0,4	45,5	19,5	407,5	23,0	90,0

NOTA. Os valores da radiação transmitida referentes à espessura 0 cm, correspondem à intensidade do feixe que incide nas amostras.

Obtivemos, então, da Figura 20, para cada feixe de luz transmitida através dos componentes do "sanduíche", lamínula, amostra, lamínula, respectivamente:

$$I = I_2 \cdot e^{-\mu_l \cdot x_l} \quad (13),$$

$$I_2 = I_1 \cdot e^{-\mu_a \cdot x_a} \quad (14),$$

$$I_1 = I_0 \cdot e^{-\mu_l \cdot x_l} \quad (15).$$

Substituindo (14) e (15) em (13), temos que:

$$I = I_1 \cdot e^{-\mu_a \cdot x_a} \cdot e^{-\mu_l \cdot x_l} = I_0 \cdot e^{-\mu_l \cdot x_l} \cdot e^{-\mu_a \cdot x_a} \cdot e^{-\mu_l \cdot x_l} \quad (16).$$

Agrupando os termos semelhantes, vem:

$$I = I_0 \cdot e^{(-2 \cdot \mu_l \cdot x_l - \mu_a \cdot x_a)} \quad (17).$$

Pode-se calcular o coeficiente de atenuação linear  $\mu_a$  da resina através da relação (17), onde  $I$  e  $I_0$  são respectivamente as intensidades transmitidas e incidente, conforme Tabela 5.  $\mu_l$  é o coeficiente de atenuação linear da lamínula, e  $x_a$  é a espessura da amostra que variou-se de 0,2 cm a 0,4 cm.

Para determinar-se os valores de  $\mu_a$ , utilizamos os valores de  $\mu_l$  da Tabela 3 correspondentes à espessura de  $x_l=0,016$ cm. Nestes cálculos está sendo introduzido um erro desprezível devido as lamínulas encontrarem-se à distâncias diferentes da fonte de luz.

Os resultados do cálculo de  $\mu_a$  estão listados na Tabela 6 para o detetor exposímetro, para cada espessura de amostra. Destes resultados, observou-se que, como para as lamínulas, o coeficiente de atenuação linear das amostras variam com a espessura, isto é,  $\mu_a=\mu_a(x)$ .

Tabela 6. Valores do coeficiente de atenuação linear  $\mu_a$  das amostras. As leituras da intensidade luminosa transmitida foi feita com o detetor exposímetro.

Espessura da amostra(cm)	$\mu_a$ (cm <sup>-1</sup> )				
	Visilux 2	Resilux	Fibralux	TransluxIII	Primelite
0,2	6,156	7,313	4,939	4,662	9,481
0,3	6,871	6,883	1,372	5,071	9,765
0,4	7,046	9,121	0,313	8,516	5,102

#### 4 - DUREZA DA RESINA

Os dados obtidos com o Consistômetro de Hoppler estão listados na Tabela 7, onde o tempo nulo refere-se ao valor obtido com o porta-amostra de alumínio. Os valores de h, em mm, utilizados para o cálculo da dureza da resina, estão listados na Tabela 8, e foram obtidos da diferença entre os vários tempos de polimerização da resina, e o tempo nulo, da Tabela 7. A Tabela 9, que nos dá valores da dureza variando com o tempo de polimerização da resina, através da relação (2) descrita no Capítulo II, Materiais e Métodos, mostra os resultados para as cinco fontes de luz. Estes resultados estão de acordo com a literatura pesquisada (COUNCIL ON DENTAL MATERIALS, INSTRUMENTS AND EQUIPMENT, 1985), que atribui o valor máximo de dureza de 240 MPa para resina microparticulada.

A Figura 19 mostra, comparativamente entre as cinco fontes luminosas, que, para cada tempo de polimerização da resina, encontramos diferentes valores de dureza. Podemos, então, classificar as fontes luminosas de acordo com o maior valor de dureza alcançado no intervalo de tempo de polimerização da resina de 13 segundos, na seguinte ordem:



- Visilux 2
- Translux III
- Resilux
- Fibrilux
- Primelite

Tabela 7. Valores da penetração da haste pontiaguda na amostra fornecidos pelo Consistômetro de Hoppler.

Tempo de irradiação (s)	Penetração (mm)				
	Visilux2	Resilux	Fibrilux	TransluxIII	Primelite
0	13,69	13,69	13,69	13,69	13,69
3	13,84	13,94	13,95	13,86	13,96
5	13,82	13,87	13,89	13,83	13,93
7	13,82	13,85	13,86	13,82	13,89
9	13,81	13,83	13,86	13,82	13,87
11	13,81	13,83	13,85	13,81	13,86
13	13,80	13,82	13,85	13,81	13,86

NOTA. O valor do tempo nulo, refere-se à medida no porta-amostra de alumínio utilizado no experimento. Estas medidas foram feita sem "zerar" o equipamento.

Tabela 8. Valores da penetração h da haste pontiaguda na amostra.

Tempo de irradiação (s)	Penetração h (mm)				
	Visilux 2	Resilux	Fibralux	TransluxIII	Primelite
3	0,15	0,25	0,26	0,17	0,27
5	0,13	0,18	0,20	0,14	0,24
7	0,13	0,16	0,17	0,13	0,20
9	0,12	0,14	0,17	0,13	0,18
11	0,12	0,14	0,16	0,12	0,17
13	0,11	0,13	0,16	0,12	0,17

NOTA. Cada linha nesta tabela, foi obtida pela diferença entre os vários tempos de polimerização da resina, e o tempo nulo, da Tabela 9.

Tabela 9. Valores de dureza obtidos com o Consistômetro de Hoppler, para amostras de 0,2 cm de espessura.

Tempo de irradiação (s)	Dureza da amostra (MPa)				
	Visilux2	Resilux	Fibralux	TransluxIII	Primelite
3	130	47	43	101	40
5	173	90	73	149	51
7	173	114	101	173	73
9	203	149	101	173	90
11	203	149	114	203	101
13	242	173	114	203	101

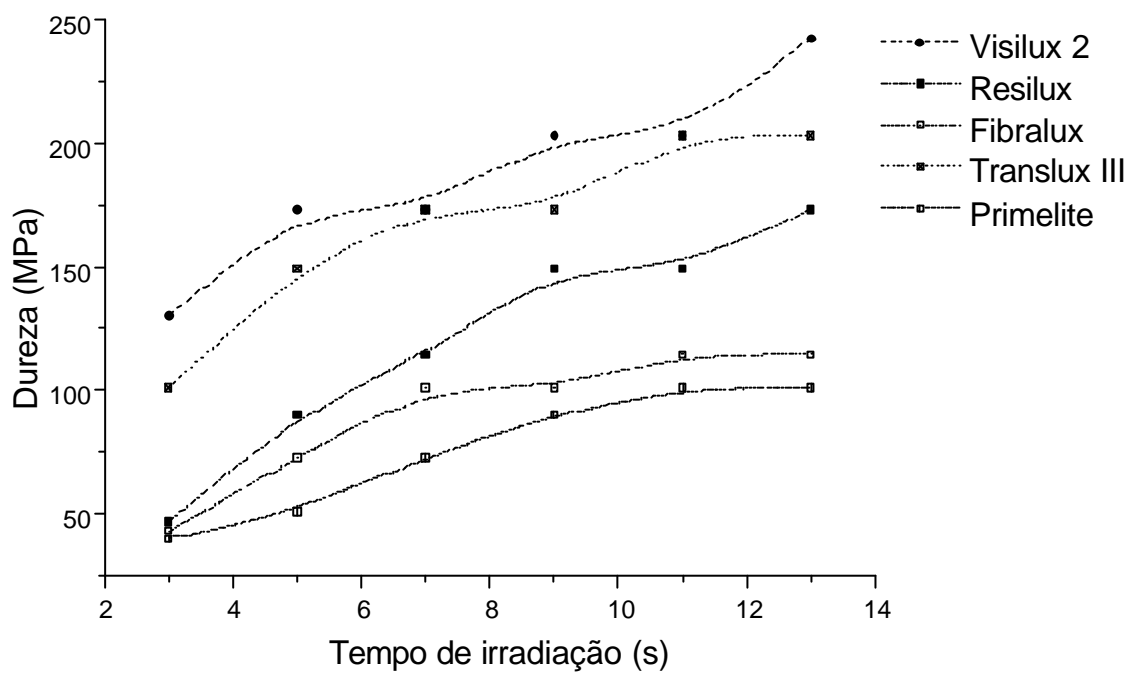


Figura 21. Comparação entre os valores de dureza em função do tempo de exposição para as cinco fontes de luz.