

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICO-QUÍMICO

FILTROS ÓTICOS, UTILIZANDO CRISTAIS LÍQUIDOS COLESTÉRICOS.

TESE SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS.

ARMANDO DE PADUA FIUZA

AGOSTO - 1981

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção de grau

"MESTRE EM CIÊNCIAS"

especialidade em FÍSICO-QUÍMICA, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação.

S. Jayaraman

Prof. SUBRAMANIA JAYARAMANN, Ph. D  
Orientador

Fauk Nome

Prof. FARUK J. N. AGUILERA, Ph. D  
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

S. Jayaraman

Prof. SUBRAMANIA JAYARAMANN, Ph. D

Luis C. Siedler

Prof. LUÍS TAYLOR S. SIEDLER, Ph. D

John Dale Gault

Prof. JOHN DALE GAULT, Ph. D

À

CÉLIA

PATRÍCIA

LEONARDO

ARMANDO JR.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. SUBRAMANIA JAYARAMAN, pela segura e eficiente orientação, dada neste trabalho.

Ao Prof. LUÍS TAYLOR S. SIEDLER pelas oportunas sugestões.

À Universidade Federal de Santa Catarina, pela oportunidade consignada.

Ao CNPq, pelo suporte financeiro.

## S U M Á R I O

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
1.1. Histórico .....	1
1.2. Classificação dos cristais líquidos	2
1.2.1 Cristais líquidos termotrópicos ....	2
1.2.2 Cristais líquidos liotrópicos .....	2
1.3. Classificação dos cristais líquidos em função da simetria .....	3
1.3.1 Fase esmética .....	3
1.3.2 Fase nemática .....	3
1.3.3 Fase colestérica .....	4
1.4. Objetivo da Tese .....	8
CAPÍTULO II - FILTROS ÓTICOS DE PASSO-DE-BANDA USANDO CRISTAIS LÍQUIDOS COLESTÉRICOS .....	12
2.1. Propriedades óticas de cristais lí- quidos colestéricos .....	12
2.2. Propagação da luz em estruturas heli- coidais.....	14
2.3. Operação de um filtro ótico de passo de-banda .....	17
CAPÍTULO III PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL .....	23
3.1. Introdução .....	23
3.2. Equipamento utilizado .....	23
3.3. Preparação das amostras e coleta de dados .....	26
3.4. Calibração da fotomultiplicadora ...	27
CAPÍTULO IV DISCUSSÃO .....	37
4.1. Resultados experimentais .....	37
4.2. Discussão dos resultados .....	90
CAPÍTULO V CONCLUSÃO .....	93
BIBLIOGRAFIA .....	95

## F I G U R A S

FIG. 1.1 - Modelo de um cristal líquido esmético .....	3
FIG. 1.2 - Arranjo das moléculas na fase nemática .....	4
FIG. 1.3 - Modelo do arranjo molecular na fase colesté rica .....	7
FIG. 1.4 - Representação esquemática do dicroísmo circu lar reflexivo .....	11
FIG. 2.1 - Esquema de uma operação de filtragem .....	20
FIG. 2.2 - Dicroísmo circular reflexivo causado por uma película de espessura $\lambda_0 = \bar{n} \cdot p$ .....	22
FIG. 3.1 - Diagrama do Equipamento Utilizado .....	25
FIG. 3.2 - Situação das amostras de CC e CN entre os po larizadores cruzados .....	30
FIG. 3.3 - Curva de Calibração da Fotomultiplicadora ..	36
FIG. 4.1 - Intensidade Relativa versus Comprimento de onda para 30% CC a 40 °C .....	53
FIG. 4.2 - Intensidade Relativa versus Comprimento de onda para 30% CC a 28 °C .....	55
FIG. 4.3 - Intensidade Relativa versus Comprimento de onda para 27% CC a 40 °C .....	57
FIG. 4.4 - Intensidade Relativa versus Comprimento de onda para 27% CC a 28 °C .....	59
FIG. 4.5 - Intensidade Relativa versus Comprimento de onda para 25% CC a 36 °C .....	61
FIG. 4.6 - Intensidade Relativa versus Comprimento de onda para 25% CC a 28 °C .....	63
FIG. 4.7 - Intensidade Relativa versus Comprimento de onda para 22 % CC a 36 °C .....	65
FIG. 4.8 - Intensidade Relativa versus Comprimento de onda para 22% CC a 30 °C .....	67

## T A B E L A S

TABELA	3.1 - Percentagens de CC e CN nas amostras .....	32
TABELA	3.2 - Fatores de correção da Fotomultiplicadora para diversos comprimentos de onda .....	34
TABELA	4.1 - Intensidade Relativa da luz transmitida pela amostra de 30% CC em função do comprimento de onda da luz incidente, em diversas temperaturas .....	39
TABELA	4.2 - Intensidade Relativa da luz transmitida pela amostra de 27% CC em função do comprimento de onda da luz incidente, em diversas temperaturas .....	41
TABELA	4.3 - Intensidade Relativa da luz transmitida pela amostra de 25% CC em função do comprimento de onda da luz incidente, em diversas temperaturas .....	43
TABELA	4.4 - Intensidade Relativa da luz transmitida pela amostra de 22% CC em função do comprimento de onda da luz incidente, em diversas temperaturas .....	45
TABELA	4.5 - Intensidade Relativa da luz transmitida pela amostra de 20% CC em função do comprimento de onda da luz incidente, em diversas temperaturas .....	47
TABELA	4.6 - Intensidade Relativa da luz transmitida pela amostra de 18% CC em função do comprimento de onda da luz incidente, em diversas temperaturas .....	49
TABELA	4.7 - Valores de $\lambda, \Delta\lambda, \Delta\lambda/\lambda$ para as amostras de CC utilizadas, nas diversas temperaturas .....	51

FIG. 4.9	- Intensidade Relativa versus Comprimento de onda para 20% CC a 36 °C.....	69
FIG. 4.10	- Intensidade Relativa versus Comprimento de onda para 20% CC a 28 °C .....	71
FIG. 4.11	- Intensidade Relativa versus Comprimento de onda para 18% CC a 40 °C .....	73
FIG. 4.12	- Intensidade Relativa versus Comprimento de onda para 18% CC a 28 °C .....	75
FIG. 4.13	- Deslocamento da banda $\Delta\lambda$ , da luz transmitida por uma mistura de 30% CC, em função da temperatura .....	77
FIG. 4.14	- Deslocamento da banda $\Delta\lambda$ , da luz transmitida por uma mistura de 27% CC, em função da temperatura.. ..	79
FIG. 4.15	- Deslocamento da banda $\Delta\lambda$ , da luz transmitida por uma mistura de 25% CC, em função da temperatura .....	81
FIG. 4.16	- Deslocamento da banda $\Delta\lambda$ , da luz transmitida por uma mistura de 20% CC, em função da temperatura.....	83
FIG. 4.17	- Deslocamento da banda $\Delta\lambda$ , da luz transmitida por uma mistura de 18% CC, em função da temperatura .....	85
FIG. 4.18	- Deslocamento da banda $\Delta\lambda$ , a 40 °C em função da concentração de CC .....	87
FIG. 4.19	- $\lambda_{\text{máx.}}$ em função da concentração de CC ....	89

A B S T R A C T

Cholesteric liquid crystals exhibit special optical properties, which can be used in the design of optical filters. The principal phenomena used in the design of filters is circular dichroism. When a beam of linearly polarized light strikes on a thin cholesteric film perpendicularly, one of the circularly polarized components is transmitted without attenuation, while the other with opposite sense, is strongly reflected. This thin film between two crossed polarizers behaves as an optical filter within a narrow band of wavelengths  $\Delta\lambda = \Delta n \cdot p$ , centering around a wavelength  $\lambda = \bar{n} \cdot p$ , where  $\Delta n$  is the optical birefringence, "p" is the cholesteric pitch and " $\bar{n}$ " is the average refractive index.

The filters were constructed using a binary mixture of Cholesteryl Chloride (CC) and Cholesteryl Nonanoate (CN) and the effects of varying the temperature and concentration were studied. The dependence of the bandwidth and the filtering wavelength was determined as a function of temperature and concentration.

This method can also be used to determine the optical birefringence ( $\Delta n$ ) of cholesteric liquid crystals, as  $\Delta n = (\Delta\lambda/\lambda) \cdot \bar{n}$ .

These optical filters may be used in optical communication systems and in instrumentation.

## R E S U M O

Os cristais líquidos colestéricos manifestam propriedades óticas especiais, as quais podem ser usadas na construção de filtros óticos. O principal fenômeno usado na construção destes filtros, é o dicroísmo circular reflexivo. Assim, quando um raio de luz linearmente polarizado incide perpendicularmente sobre uma película colestérica, tem uma componente circularmente polarizada transmitida sem atenuação enquanto que a outra componente que tem sentido oposto, é fortemente refletida. Esta película entre dois polarizadores cruzados comporta-se como um filtro ótico de largura  $\Delta\lambda = \Delta n \cdot p$  em torno de um comprimento de onda  $\lambda = \bar{n} \cdot p$ . Aqui  $\Delta n$  é a birrefringência, "p" é o passo do colestérico e "n" é o índice médio de refração.

Em vista disso, neste trabalho se verificou a operação de filtragem causada por uma mistura binária de Cloreto de Colesterila (CC) e Nonanoato de Colesterila (CN) quando a mesma era submetida a variações de temperatura ou de concentração. Variando ora a concentração dos componentes, ora a temperatura, determinamos experimentalmente, a largura das bandas.

Este método também pode ser usado para determinar a birrefringência ( $\Delta n$ ) dos cristais líquidos colestéricos, pois  $\Delta n = (\Delta\lambda/\lambda) \cdot \bar{n}$ .

Estes filtros óticos podem ser usados em comunicação e instrumentação óticas.

## C A P I T U L O I

INTRODUÇÃO1.1 Histórico<sup>1,2,3</sup>

Chamar uma substância de cristal líquido, aparentemente é um contrasenso, visto que o líquido flui e não tem forma própria enquanto que o sólido é rígido e mantém as partículas que o constituem em posições definidas e permanentes. Em outras palavras, as moléculas que constituem um líquido distribuem-se aleatoriamente, não há uma distribuição ordenada de moléculas, ao passo que as partículas que constituem os sólidos, são fixas em posições definidas, numa distribuição espacial regular. Conceitualmente, ambos não tem nada em comum, o que obviamente se constata pelas suas propriedades mecânicas.

Mas Reinitzer<sup>4</sup> em 1888 notou que o Benzoato de Colesterila, a 145,5 °C não apresentava um nítido ponto de fusão, mas tornava-se um fluido turvo, que passava para fluido transparente apenas a 178,5 °C. Esta descoberta de Reinitzer foi um passo inicial na abertura de um novo campo de estudo, que o físico germânico O. Lehmann<sup>5</sup> inicialmente denominou de cristais fluidos por considerá-los com algumas propriedades intermediárias entre as fases líquida e cristalina.

O cristal líquido manifesta propriedade de ambos os estados: sólido e líquido. O cristal líquido distingue-se de um líquido comum por apresentar algum tipo de ordem cristalina e várias anisotropias, em suas propriedades físicas macroscópicas, sem contudo demonstrar uma estrutura tri-dimensio

nal como a do estado sólido. Já na década de 1960 houve um re despertar de interesse em pesquisar cristais líquidos devido as alentadoras aplicações dos mesmos em : Sistemas eletro-óticos, memórias óticas, vidros especiais para controlar o grau de luz transmitida, etc...

A classificação dos cristais líquidos, fundamenta-se basicamente em seus diferentes comportamentos óticos.

### 1.2. Classificação dos cristais líquidos. <sup>(3)</sup>

Podem ser classificados em duas amplas categorias:

- Termotrópicos.
- Liotrópicos.

#### 1.2.1. Cristais líquidos termotrópicos.

Via de regra, são compostos orgânicos que passam por uma ou mais fases entre os estados sólido e líquido, quando aquecidos.

Despertam grande interesse por exibirem propriedades óticas com importantes aplicações tecnológicas, por exemplo : mostradores digitais.

#### 1.2.2. Cristais líquidos liotrópicos.

São obtidos pela mistura de dois ou mais compostos, um dos quais geralmente é polar. Tais soluções são formados por moléculas alongadas como soluto, e por líquidos isotrópicos como solventes. A variação de concentração do soluto causa transições de fase neste tipo de cristal líquido.

### 1.3. Classificação dos cristais líquidos em função da simetria.

Friedel<sup>(6)</sup> propôs em 1922, a primeira classificação para os cristais líquidos, dividindo-os em três classes: Esméticos, Nemáticos e Colestéricos.

#### 1.3.1. Fase esmética.

As moléculas dos cristais líquidos esméticos ( do grego σμνγμα = saponáceo ) dispõem-se em camadas equidistantes onde as moléculas sob a forma de pequenas barras se posicionam ordenadamente umas ao lado das outras formando longas filas ou então distribuem-se aleatoriamente dentro da camada, dando origem a oito tipos de esmáticos identificados de A até H ( FIG. 1.1 ).

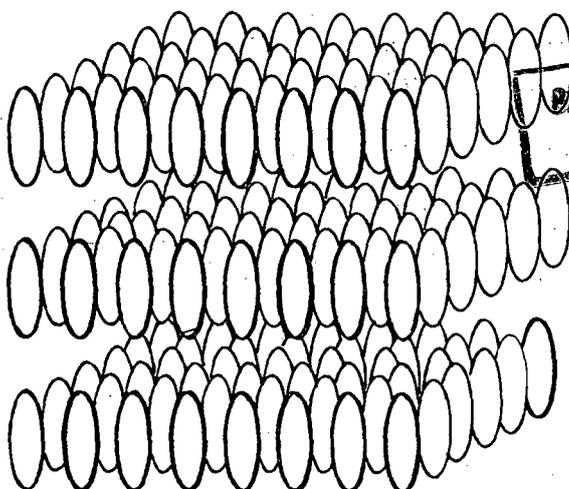


FIG. 1.1 - Modelo de um cristal líquido esmético.

#### 1.3.2. Fase nemática

Na fase nemática as moléculas apresentam um arranjo

com seu eixo maior mantendo uma direção preferencial no espaço que varia ao longo do material.

A orientação das moléculas nos nemáticos não é exatamente paralela a uma direção, e seu grau de orientação pode ser expresso, segundo Zwetkov, por um parâmetro de ordem  $S$  <sup>(19)</sup>

$$S = \frac{1}{2} \langle \cos^2 \theta - 1 \rangle \quad (1.1)$$

onde:  $\theta$  é o ângulo entre o eixo maior da molécula e a orientação preferencial. Esta direção é representada por um vetor unitário  $\hat{n}$ , chamado diretor ( FIG. 1.2 ); sendo que as moléculas são consideradas sem polaridade. Para este diretor  $\hat{n}$  podemos escrever:

$$\begin{aligned} \hat{n} \cdot \hat{n} &= 1 \\ e \quad \hat{n} &= -\hat{n} \end{aligned} \quad (1.2)$$

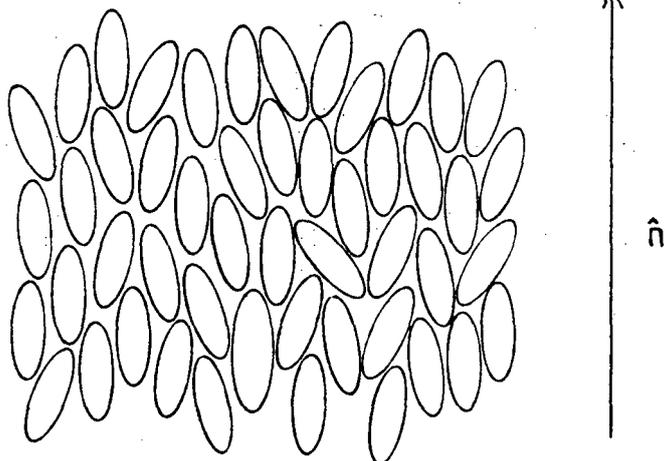


FIG. 1.2 - Arranjo das moléculas na fase nemática.

Os nemáticos são óticamente uniaxiais tendo seu eixo ótico paralelo ao diretor  $\hat{n}$ , e geralmente apresentam anisotropia magnética positiva, isto é, suas moléculas se orientam paralelas a um campo magnético externo.

### 1.33 - Fase colestérica.

Os cristais líquidos colestéricos em sua grande maioria, são derivados do colesterol, apesar deste por si mesmo não apresentar essa fase<sup>(7)</sup>. Frequentemente se obtêm a fase colestérica pela adição, a um cristal líquido nemático, de um composto opticamente ativo, que não precisa necessariamente ser cristal líquido.

Na fase colestérica, o material também apresenta um eixo preferencial<sup>(8)</sup> de alinhamento das moléculas, que é especificado pelo diretor  $\hat{n}$ . O diretor  $\hat{n}$  sofre um giro contínuo no espaço gerando assim, uma estrutura helicoidal, que é caracterizada pelo seu passo  $p$ . ( FIG. 1.3 )

$$p = \frac{2\pi}{q_0} \quad (1.3)$$

sendo :  $q_0$  o ângulo de torção por unidade de comprimento.

Se  $Z$  é o eixo da hélice, teremos para  $\hat{n}$ :

$$\begin{aligned} n_x &= \cos ( q_0 Z + \psi ) \\ n_y &= \text{sen} ( q_0 Z + \psi ) \\ n_z &= 0 \end{aligned} \quad (1.4)$$

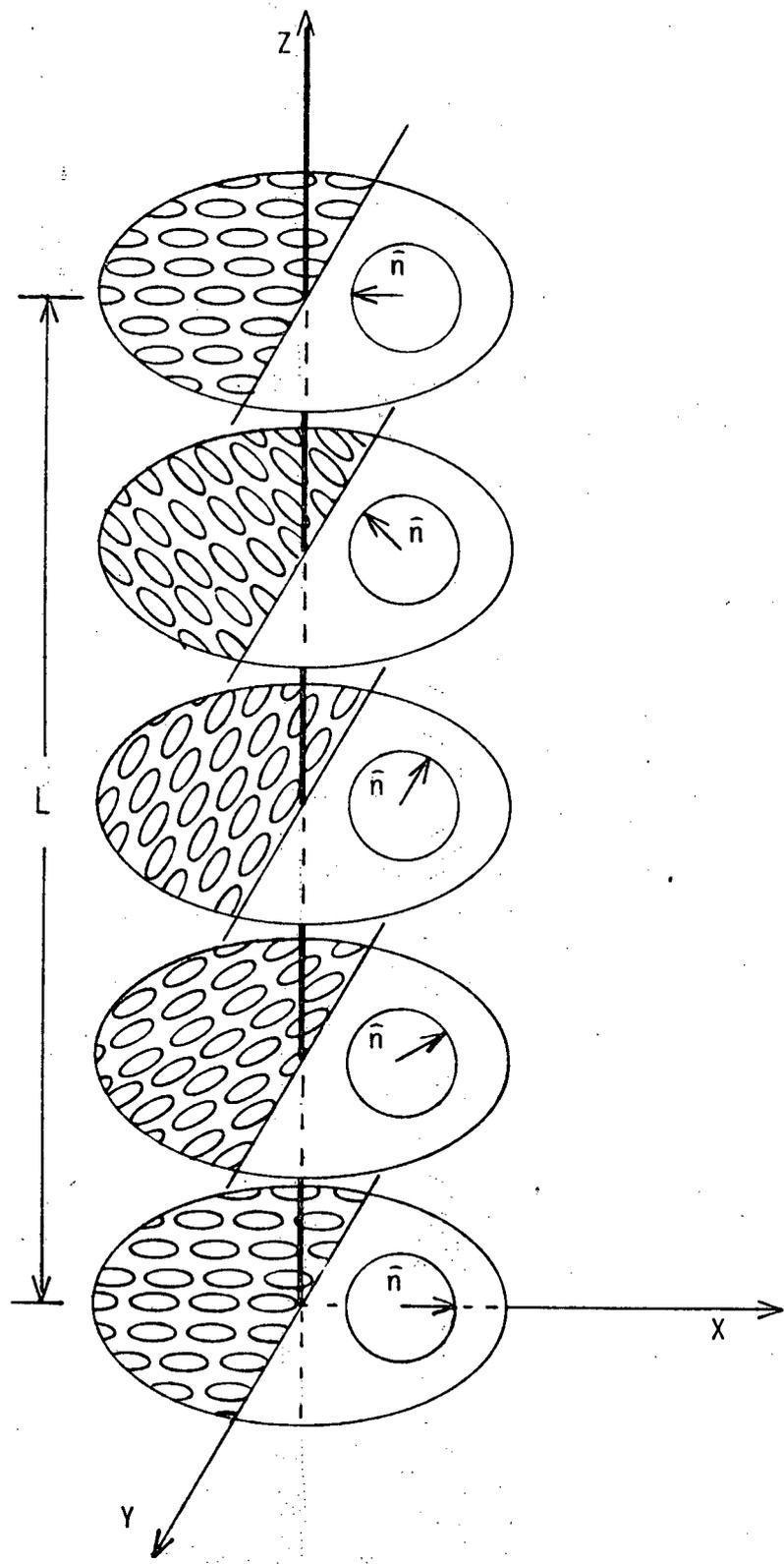
onde  $\psi$  é um ângulo arbitrário (fase).

Pelo que se viu, a estrutura dos colestéricos, é periódica ao longo do eixo  $Z$ . O período espacial " $L$ " é a metade do passo da hélice e é dado por:

$$L = \frac{\pi}{|q_0|} \quad (1.5)$$

O módulo de  $q_0$  determina a magnitude de  $L$ , enquanto que o sinal distingue o sentido da hélice, se à esquerda, o cristal é levógiro, se à direita o cristal é dextrógiro.

A estrutura colestérica sofre variação do passo



quando submetidas a ações externas como temperatura, pressão, campo elétrico, campo magnético, radiação-gama, etc... e isto acarreta mudanças em suas propriedades óticas.

E numa mistura de cristais líquidos colestéricos, cada componente contribui para o passo <sup>(10)</sup>, numa porção que depende da percentagem de cada um e do efetivo poder de torção da molécula, o qual depende da temperatura.

As propriedades dos cristais líquidos colestéricos são muito interessantes, como por exemplo a reflexão seletiva da luz, o dicroísmo circular e a grande atividade ótica, que chega a atingir 18000 graus numa espessura de 1 milímetro. Estas propriedades óticas anômalas podem ser utilizadas em instrumentação ótica, assim como se utilizam os cristais líquidos colestéricos em mapeamento térmico, em medidas de pressão e em medidas de radiação nuclear.

Para comprimento de onda da luz incidente, que sejam sensivelmente iguais ao passo  $p$ , o cristal líquido colestérico provoca um forte espalhamento de Bragg, o que faz com que esta fase apareça brilhantemente colorida.

#### 1.4. Objetivo da Tese.

Um raio de luz linearmente polarizada ao incidir sobre uma película de cristal líquido colestérico é alterado, dando origem a dois raios circularmente polarizados e de sinais opostos. Um raio é transmitido integralmente através do meio colestérico, enquanto o outro é refletido segundo a lei de Bragg. Isto constitui o dicroísmo circular reflexivo (FIG.1.4), um fenômeno de filtragem da luz que abrange uma banda de comprimentos de onda  $\Delta\lambda$  centrada em torno de um comprimento de onda  $\lambda$ ;

que são determinados assim:

$$\lambda = \bar{n} p \quad (1.6)$$

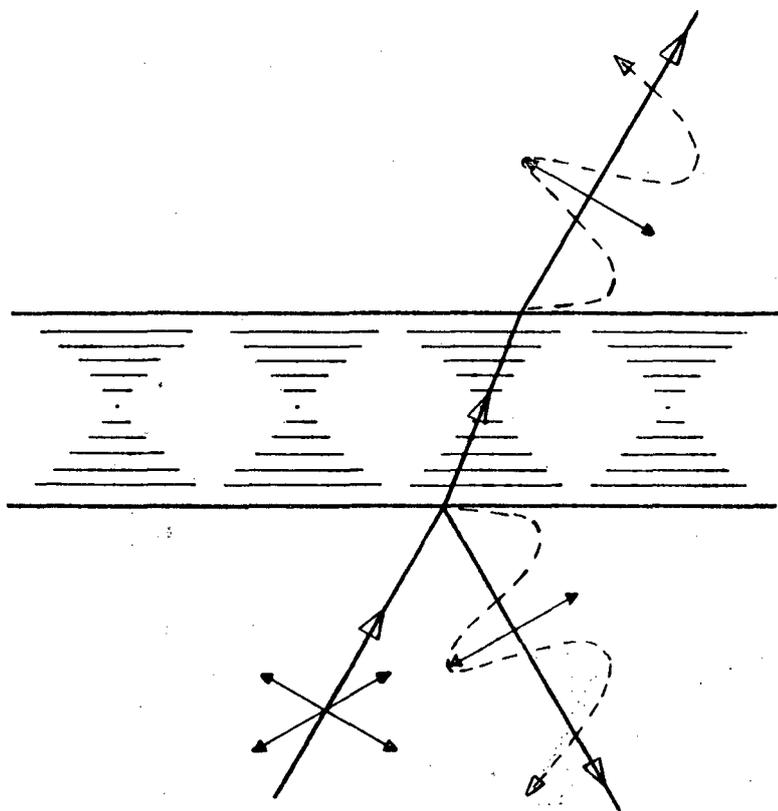
$$e \quad \Delta\lambda = \Delta n \cdot p \quad (1.7)$$

onde:  $\Delta n = n_o - n_e$ , e  $\bar{n}$  é o índice médio de refração. Formula que serão demonstradas no capítulo II.

Em vista disso, e considerando que as propriedades óticas de uma película de cristal líquido colestérico são caracterizadas pelo seu passo, seu índice de refração e pela sua helicidade<sup>12</sup>, isto é, se a hélice é orientada para a direita ou para a esquerda; este trabalho pretende verificar a operação de filtragem causada por uma mistura binária de Cloreto de Colesterila e Nonanoato de Colesterila, quando a mesma for submetida a variações de temperatura ou de concentração. Variando ora a concentração dos componentes ora a temperatura, determinaremos, experimentalmente, a largura das bandas, uma vez que o comprimento de onda da luz incidente pode ser controlado com o uso de um monocromador.

No capítulo 2, discutiremos as propriedades óticas anômalas dos cristais líquidos colestéricos e suas aplicações para filtros óticos. No capítulo 3, será descrito o procedimento experimental. No capítulo 4, discutiremos, os resultados que obtivemos usando películas da mistura dos cristais líquidos colestéricos Cloreto de Colesterila e Nonanoato de Colesterila.

FIG. 1.4 Representação esquemática do dicroísmo circular reflexivo, manifestado por uma película de cristal líquido colestérico.



## C A P I T U L O II

Filtros óticos de passo-de-banda usando cristais líquidos colestéricos.2.1. Propriedades óticas de cristais líquidos colestéricos.

Os cristais líquidos colestéricos possuem uma propriedade ótica incomum em virtude de sua configuração helicoidal. O diretor colestérico  $\hat{n}$  forma uma hélice, como mostra a FIG. 1.3, e é descrita pelas equações 1.4, assim:

$$\begin{aligned}\hat{n}_x &= \cos ( q_0 Z + \psi ) \\ \hat{n}_y &= \text{sen} ( q_0 Z + \psi ) \\ \hat{n}_z &= 0\end{aligned}\quad (1.4)$$

Em geral, ambos a direção do eixo Z da hélice no espaço e a magnitude da constante  $\psi$ , são arbitrárias. Isto é evidente, já que a estrutura do cristal líquido colestérico é periódica em relação ao período espacial L.

$$L = \frac{\pi}{|q_0|}\quad (1.5)$$

Num sistema de coordenadas dextróginas, as Eq. 1.4. descrevem uma hélice à direita para  $q_0$  positivo e uma hélice à esquerda para  $q_0$  negativo. Assim, o sinal de  $q_0$  determina o sentido da hélice e sua magnitude determina a periodicidade espacial  $q_0 = \frac{d\theta}{dz}$  determina o poder rotatório do cristal líquido

colestérico.

O período espacial da hélice é chamado de passo do cristal líquido e é dado por

$$p = \frac{2\pi}{|q_0|} = 2L \quad (1.3)$$

Várias propriedades óticas peculiares derivam desta estrutura helicoidal periódica. Essas propriedades são as seguintes:

1 . Quando o passo é igual a um comprimento de onda da região do visível, uma reflexão de Bragg para o raio de luz, é observada. Para a luz incidindo paralelamente ao eixo Z, apenas uma reflexão de primeira ordem é observada.

$$\lambda_{\text{ref.}} = \bar{n} \cdot p \quad (2.1)$$

onde :  $\lambda_{\text{ref.}}$  é o comprimento de onda da luz refletida e  $\bar{n}$  é o índice médio de refração do meio colestérico.

2 . A luz refletida de Bragg é circularmente polarizada se a onda incidente propaga-se paralelamente ao eixo Z.

3 . Apenas a componente da polarização ótica para o qual o modelo de campo elétrico espacial instantâneo alinha-se ao diretor da espiral colestérica, é fortemente refletida. A outra componente é transmitida sem qualquer reflexão significativa. Este dicroísmo circular da luz refletida de Bragg ocorre numa estreita banda de comprimento de onda  $\Delta\lambda$  dada por:

$$\Delta\lambda = \Delta n \cdot p$$

onde:  $\Delta n = n_{\parallel} - n_{\perp}$  é a birrefringência ótica do cristal li

quido colestérico.

4 . Fora desta banda de reflexão seletiva, um forte poder rotatório é observado. A luz linearmente polarizada sofre uma forte rotação do plano de polarização, da ordem de centenas de revoluções por milímetro de espessura do cristal líquido colestérico. Comparado com líquidos isotropicamente ativos, estes têm uma fraquíssima atividade ótica de frações de revolução por milímetro.

## 2.2 Propagação da luz em estruturas helicoidais.

E. B. Priestley, verificou teoricamente todas as propriedades óticas dos cristais líquidos colestéricos, descritas acima considerando apenas as ondas que se propagam na direção do eixo Z da hélice. O vetor campo elétrico  $\vec{E}$  e o vetor deslocamento elétrico  $\vec{D}$  conseqüentemente são confinados ao plano xy e são relacionados por um tensor dielétrico secundário  $\overset{\leftrightarrow}{E}$  bidimensional. Nós desprezamos a fraca atividade ótica intrínseca das moléculas constituintes, e efeitos de absorção. A permeabilidade magnética  $\eta$  é assumida como unitária. Então  $\epsilon_{11}$  e  $\epsilon_{\perp}$  representam, respectivamente, as constantes dielétricas paralelas e perpendicular ao diretor local  $\hat{n}$ .

$$\overset{\leftrightarrow}{E} = \begin{pmatrix} \epsilon_0 + \epsilon_1 & 0 \\ 0 & \epsilon_0 - \epsilon_1 \end{pmatrix}$$

onde :  $\epsilon_0 = \frac{\epsilon_{11} + \epsilon_{\perp}}{2}$  é a constante dielétrica média. (2.2)

$\epsilon_1 = \frac{\epsilon_{11} - \epsilon_{\perp}}{2}$  é o valor da anisotropia dielétrica no

plano xy (2.3).

E. B. Priestley introduz aqui, dois parâmetros sem dimensionalidade: <sup>18</sup>

$$\alpha = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_0} \quad (2.4)$$

e

$$\lambda' = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_0} p} \quad (2.5)$$

onde:  $\lambda$  é o comprimento de onda no vácuo; e usando as equações de Maxwell num sistema de coordenadas rotacionais, chega-se as seguintes conclusões:

1 - Para valores de  $\lambda'$  próximos da unidade, i.é., quando o comprimento de onda da luz for aproximadamente igual ao passo do colestérico, há uma banda de reflexão nas proximidades de  $\lambda'$  :

$$(1 - \alpha)^{1/2} < \lambda' < (1 + \alpha)^{1/2} \quad (2.6)$$

onde a luz circularmente polarizada de mesmo sentido que a hélice do colestérico é fortemente refletida e a outra componente circularmente polarizada é transmitida através do meio colestérico. Esta banda de reflexão tem a largura semelhante a  $\alpha$  :

$$\lambda_2' - \lambda_1' = \alpha \quad (2.7)$$

A equação 1.7 é determinada a partir de  $\alpha$  :

Da equação 2.7 tiramos :

$$\alpha = \frac{\Delta\lambda}{\sqrt{\epsilon_0} p}$$

e da equação 2.4 vem:

$$\alpha = \frac{\frac{\epsilon_{||} - \epsilon_{\perp}}{2}}{\epsilon_0}$$

então:

$$\frac{\Delta\lambda}{\sqrt{\epsilon_0} \cdot p} = \frac{\frac{\epsilon_{||} - \epsilon_{\perp}}{2}}{\epsilon_0}$$

e

$$\Delta\lambda = \frac{\frac{\epsilon_{||} - \epsilon_{\perp}}{2}}{\sqrt{\epsilon_0}} p$$

Como:  $\epsilon_{||} = n_{||}^2$  ;  $\epsilon_{\perp} = n_{\perp}^2$  e  $\bar{n} = \sqrt{\epsilon_0}$  , teremos:

$$\Delta\lambda = \frac{\frac{n_{||}^2 - n_{\perp}^2}{2}}{\bar{n}} p$$

E portanto:  $\Delta\lambda = \Delta n \cdot p$

onde:  $\Delta n = n_{||} - n_{\perp}$  expressa a anisotropia ótica do meio, e

$\bar{n} = \frac{n_{||} + n_{\perp}}{2}$  é o índice médio de refração

Como foi visto anteriormente,  $\lambda = \bar{n} \cdot p$  é o comprimento de onda da máxima reflexão e a largura da banda de reflexão é

$$\Delta\lambda = \frac{\Delta n}{\bar{n}} \lambda \quad (2.8)$$

2 . Fora desta banda de reflexão, as duas ondas circulares propagam-se no interior do meio colestérico, evidentemente

te com velocidades diferentes o que resulta numa birrefringência circular. Quando a luz incidente é linearmente polarizada, as duas componentes desta luz incidente sofrem uma birrefringência e como resultado há uma rotação do plano de polarização da luz incidente.

A rotação por unidade de comprimento, demonstrouse<sup>(18)</sup> ser igual a :

$$\frac{d\psi}{dz} = \frac{-2\pi}{p} \frac{\alpha^2}{8(\lambda')^2 [1 - (\lambda')^2]} \quad (2.9)$$

onde:  $\psi$  representa o ângulo de rotação da luz por efeito da atividade ótica.

Quando:  $\lambda \ll p$ , isto é, para pequenos comprimentos de onda, a rotação ótica é proporcional a  $p/\lambda^2$ .

Quando:  $\lambda \gg p$ , isto é, para grandes comprimentos de onda, a rotação ótica é proporcional a  $p^3/\lambda^4$ .

Estas conclusões serão usadas na construção de fil  
tros óticos com passos de banda nas secções subsequentes e tam  
bém nas discussões dos resultados.

### 2.3 Operação de um filtro ótico de passo-da-banda.

O princípio básico envolvido na construção destes filtros é o dicroísmo circular reflexivo. Especificamente quando uma luz plano-polarizada incide num filme colestérico de es  
trutura planar, na mesma direção da hélice, é separado quase completamente em luz circularmente polarizada à esquerda (LCPE) e luz circularmente polarizada à direita (LCPD); numa região de comprimentos de onda específicos, como vimos na secção ante  
rior. Um filme colestérico é caracterizado pelo passo  $p$ , pelo

índice de refração  $\bar{n}$  e pelo sentido da hélice ( i.é, se levógira ou dextrógira ). (FIG. 2.1)

Quando uma luz branca plano-polarizada incide perpendicularmente sobre um filme colestérico levógiro, como mostra a FIG. 2.2 a componente circularmente polarizada à esquerda, é quase completamente refletida se  $\lambda = \lambda_0 = \bar{n} \cdot p$  e a componente circularmente polarizada à direita é quase completamente transmitida. Este fenômeno ocorre em uma banda de reflexão dada por  $\Delta\lambda = \frac{\Delta n}{\bar{n}} \lambda_0$ , onde  $\Delta n$  é a birrefringência. Para comprimentos de onda diferentes de  $\lambda_0$  ( fora da banda  $\Delta\lambda$ ), o filme exibe atividade ótica. A luz linearmente polarizada é transmitida através do filme colestérico com seu vetor de polarização sofrendo um giro contínuo.

A medida da banda ( $\Delta\lambda$ ) de um filtro de passo-de banda é feita em um filme colestérico de passo  $p$  entre duas lâminas de vidro e posicionado entre polarizadores cruzados, conforme FIG. 3.2. O filme converte a banda de comprimentos de onda em torno de  $\lambda_0 = \bar{n} \cdot p$  em luz circularmente polarizada que é transmitida parcialmente através do analisador. Todos os outros comprimentos de onda são extinguidos exceto os que sofrem atividade ótica.

Visto que os filmes colestéricos não afetam substancialmente a luz fora da banda  $\Delta\lambda = \Delta n \cdot p$ , nós podemos usar muitos filmes colestéricos, de diferentes valores de passo, em série, entre polarizadores cruzados para produzir um filtro múltiplo de passo-de-banda. Além disso o passo-de-banda do filtro ótico pode ser facilmente ajustável por variações tanto da temperatura, como da concentração de um dos componentes da mistura coléstérica.

FIG. 2.1. - Esquema de uma operação de filtragem.

LNP - Luz Não Polarizada.

LLP - Luz Lineamente Polarizada.

LCPE - Luz Circulamente Polarizada à Esquerda.

LCPD - Luz Circulamente Polarizada à Direita.

P - Polarizadores.

PCL - Película colestérica levógira.

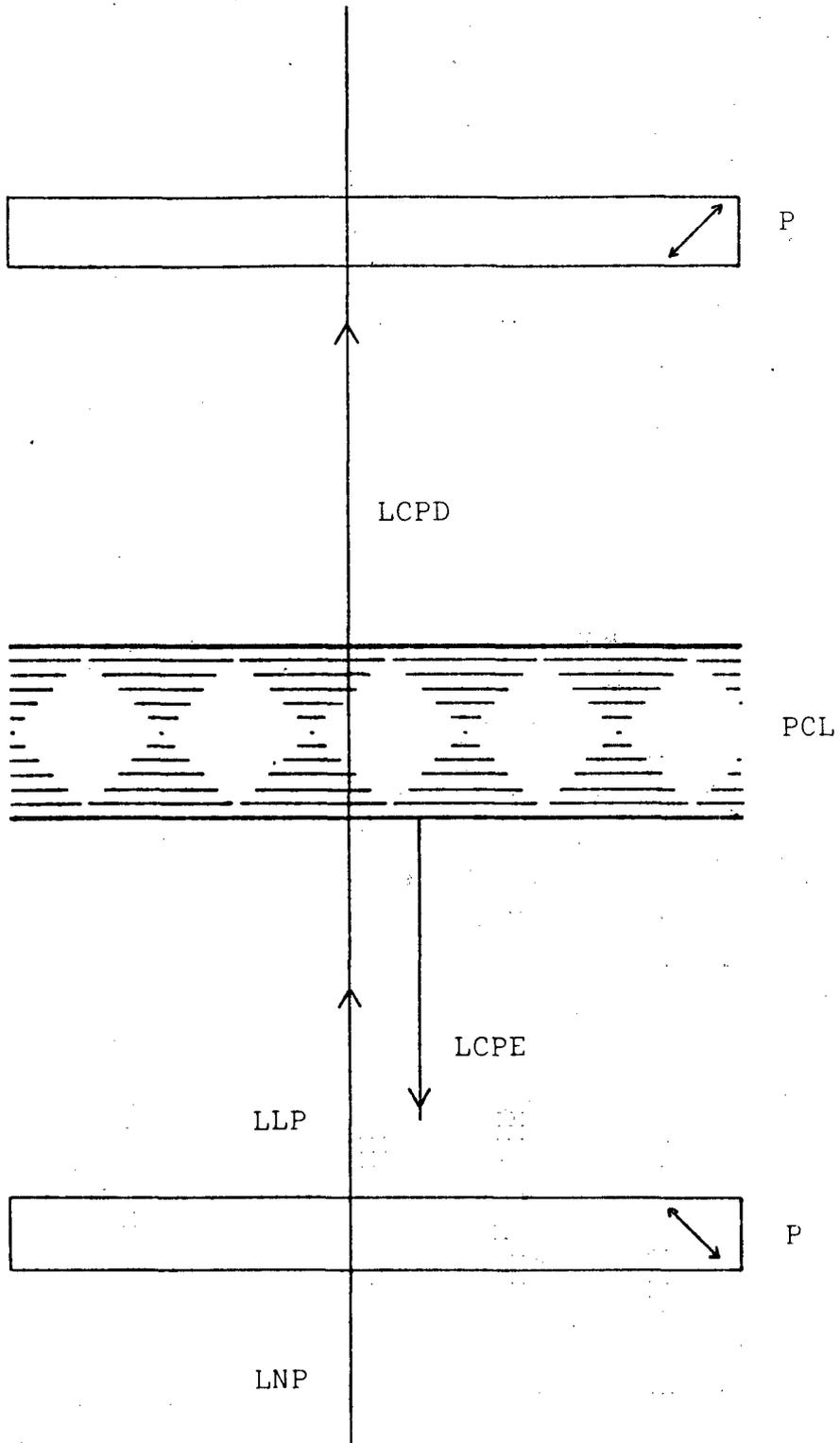


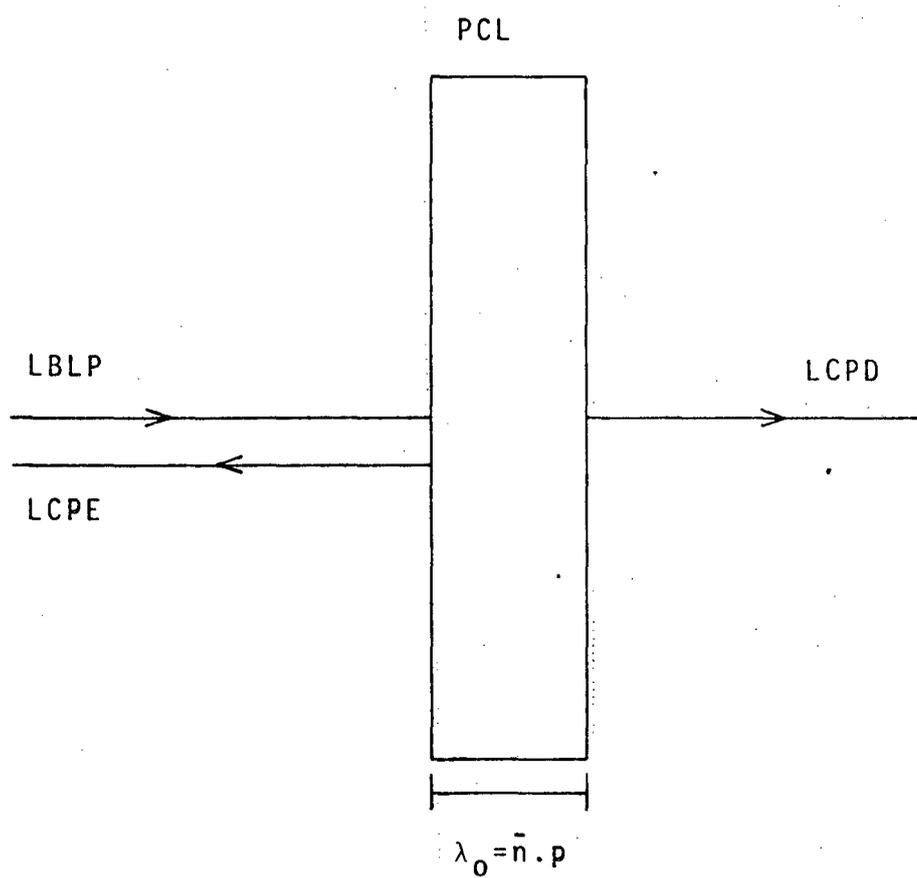
FIG. 2.2 - Dicroísmo circular reflexivo causado por uma película colestérica de passo  $p$ , com espessura  $\lambda_0 = \bar{n} \cdot p$

PCL - Película colestérica levógira

LBLP- Luz branca linearmente polarizada

LCPE- Luz circularmente polarizada  $\bar{\lambda}$  esquerda

LCPD- Luz circularmente polarizada  $\bar{\lambda}$  direita



## C A P I T U L O III

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL3.1. Introdução:

Este trabalho foi realizado numa sala ambiente, onde a claridade e a temperatura eram controladas. Utilizou-se uma mistura binária de cristais líquidos colestéricos, constituída de Nonanoato de Colesterila (  $C_{36}H_{62}O_2$  ) e Cloreto de Colesterila (  $C_{27}H_{45}Cl$  ) identificados neste trabalho por CN e CC, respectivamente. Dentro de concentrações definidas, para cada amostra da mistura, mediu-se a intensidade da luz transmitida em função do comprimento de onda. A concentração dos cristais líquidos e a temperatura foram controladas em todas as etapas deste experimento. As proporções de cada componente das misturas foram determinadas numa balança METTLER de precisão da ordem de  $10^{-3}$  g.

3.2 Equipamento Utilizado:

O equipamento utilizado neste trabalho, está esquematizado na FIG. 3.1; é semelhante ao utilizado por Denicolo<sup>(11)</sup> e consiste em um Microscópio Universal de Pesquisa NU (H) ao qual estão associados uma câmara de aquecimento (D), um controlador de temperatura (C), um monocromador (F), uma fotomultiplicadora (J), um voltímetro digital (L), uma fonte de alta tensão (I), um estabilizador de voltagem (B) e duas fontes luminosas (E,G). "G" é uma fonte de luz branca de lâmpada de tungstênio e "E" é também uma fonte de luz branca mas de lâmpa

FIG. 3.1 Diagrama do Equipamento Utilizado.

B - Estabilizador da voltagem.

C - Controlador de temperatura.

D - Câmara de aquecimento.

E - Fonte luminosa.

F - Monocromador.

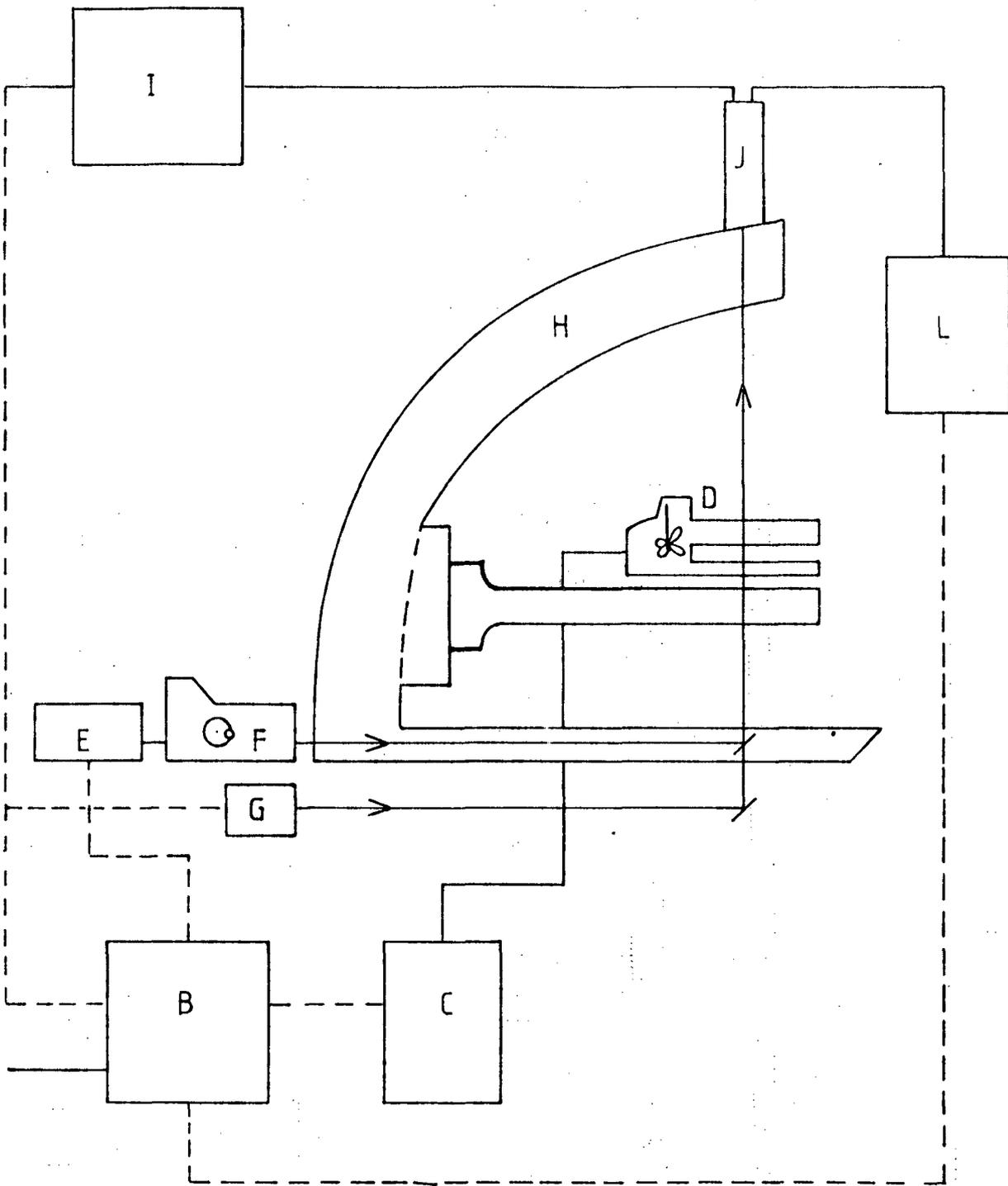
G - Fonte luminosa.

H - Microscópio Universal de Pesquisa NU.

I - Fonte de alta tensão.

J - Fotomultiplicadora.

L - Voltímetro digital.



da de xenônio. A câmara de aquecimento possui um forninho cuja temperatura é controlada com precisão de 0,1 °C pelo controlador de temperatura. A fonte de luz "G" serve para verificar o alinhamento da película colestérica. Da luz proveniente da fonte E o monocromador seleciona os comprimentos de onda a serem transmitidos através da amostra de cristal líquido.

A temperatura ambiente na sala, foi mantida a  $(18 \pm 3)$  °C durante a realização das medidas.

### 3.3 Preparação das amostras e coleta de dados:

Na preparação das amostras usou-se CN e CC da marca Aldrich, os quais foram recristalizados por três (3) vezes a fim de apresentarem o ponto isotrópico indicado pela literatura. Foram preparadas seis (6) amostras de 2,0000 g cada com percentagens em massa, de CN e CC cujas porções estão indicadas na tabela 3.1. Usando um aquecedor que fornecia uma temperatura de 67 °C estas amostras eram homogeneizadas com suaves agitações do pequenorecipiente que as armazenava.

Uma porção destas amostras era colocada entre duas lâminas de vidro, espaçadas de 23,4  $\mu$  por um mylar e levada à câmara de aquecimento entre polarizadores cruzados, FIG. 3.2. Inicialmente levava-se a mistura ao ponto isotrópico para que ao decrescer lentamente a temperatura se conseguisse o alinhamento molecular da película colestérica, o qual é julgado satisfatório quando a mesma apresenta uma cor uniforme e brilhante, sob a ação de luz branca.

Assegurado o alinhamento, aguardava-se o equilíbrio térmico da câmara de aquecimento antes de se efetuar qualquer medida.

A luz de comprimento de onda desejado selecionada no monocromador, seguia o caminho ótico indicado na FIG. 3.1, a té ser recolhida na fotomultiplicadora. Com auxílio do voltímetro digital media-se a variação de tensão de saída da fotomultiplicadora para os diversos comprimentos de onda da luz incidente. A partir destas medidas determinaram-se dados para traçar os gráficos de intensidade relativa da luz transmitida em função do comprimento de onda, para cada uma das amostras em cada temperatura aplicada.

Para cada amostra foram feitas medidas da luz transmitida nas seguintes temperaturas: 40,0 °C; 36,0 °C; 34,0 °C; 32,0 °C, 30,0 °C e 28,0 °C, de tal sorte que para cada concentração foram obtidas seis tabelas. Isto fez-se necessário porque se queria saber qual a influência da temperatura na filtração da luz, causada por películas de misturas binárias de coleléstéricos. Devido ao interesse prático é que se escolheu temperaturas bastante próximas à temperatura ambiente.

Devemos ressaltar ainda, que para favorecermos o alinhamento do cristal líquido, friccionávamos longitudinalmente, as lâminas de vidro com um lenço de papel, antes de nelas acondicionarmos a amostra coleléstica.

#### 3.4 Calibração do Sistema Ótico:

Como trabalhamos com intensidade relativa da luz traçamos uma curva de calibração do sistema ótico, FIG.3.3. Os dados foram colhidos sem a presença de cristal líquido entre os polarizadores cruzados na temperatura ambiente; controlando o comprimento de onda da luz incidente, medimos a tensão de saída da fotomultiplicadora, que é dada mV, e a seguir deter

minamos um fator de correção entre zero e um (1,0) para cada comprimento de onda incidente. Estes fatores estão na tabela 3.2.

A curva de calibração traduz a sensibilidade do sistema ótico, os dados da tabela 3.2 indicam que ela é menor na região do infra-vermelho do que na região do violeta e ultravioleta; mas em compensação a partir de 415 nm começa a crescer rapidamente, atingindo o valor máximo em 525 nm e a partir deste valor decresce lentamente sem no entanto atingir os índices que apresenta na região do infra-vermelho. Chamando de  $V$ , a tensão de saída da fotomultiplicadora usamos a seguinte fórmula para determinar o fator ( $F$ ), para os comprimentos de onda a partir de 400 nm, lidos de 5 em 5 nm, até 700 nm:

$$F = \frac{V - R}{V_{\text{máx.}} - R} \times 100 \quad (3.1)$$

onde:  $V_{\text{máx.}}$  foi a tensão máxima, lida entre 400 nm e 700 nm e  $R$  é o valor residual da fotomultiplicadora.

E assim os dados obtidos a partir das amostras de cristal líquido colestérico, foram multiplicados pelo fator de correção do respectivo comprimento de onda. Procedemos assim: chamamos ainda a tensão de saída de  $V$  e dela subtraímos o resíduo  $R$ , tivemos então:  $V' = V - R$  e fizemos o produto:  $V' \cdot F$ , para determinarmos finalmente a intensidade relativa ( $I_r$ ) em unidades arbitárias:

$$I_r = \frac{V' \cdot F}{(V' \cdot F)_{\text{máx.}}} \times 100$$

FIG. 3.2 - Situação das amostras da mistura binária de CC e CN entre as placas de vidro, na câmara de aquecimento.

P - Polarizadores

PV- Placa de vidro

PC- Película colestérica

LM- Luz proveniente do Monocromador

LF- Luz para a Fotomultiplicadora

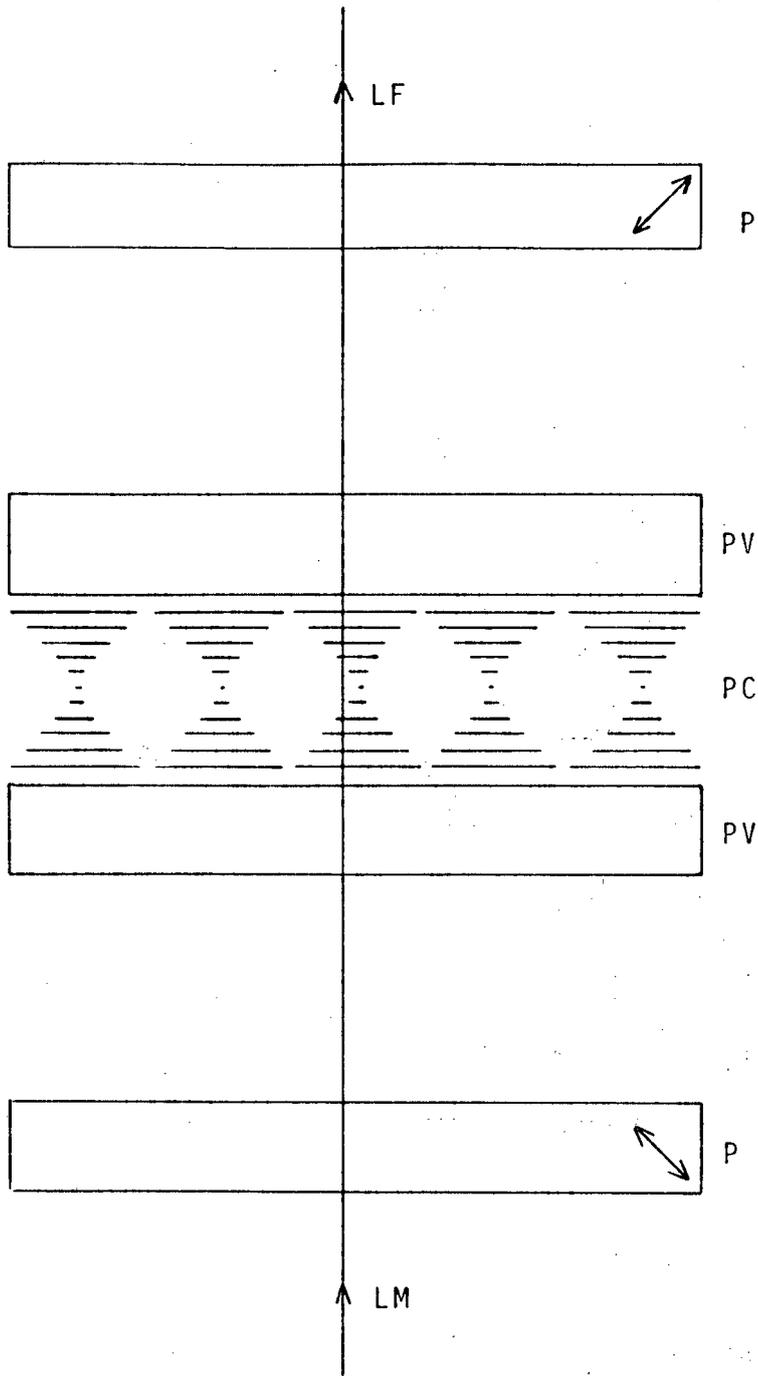


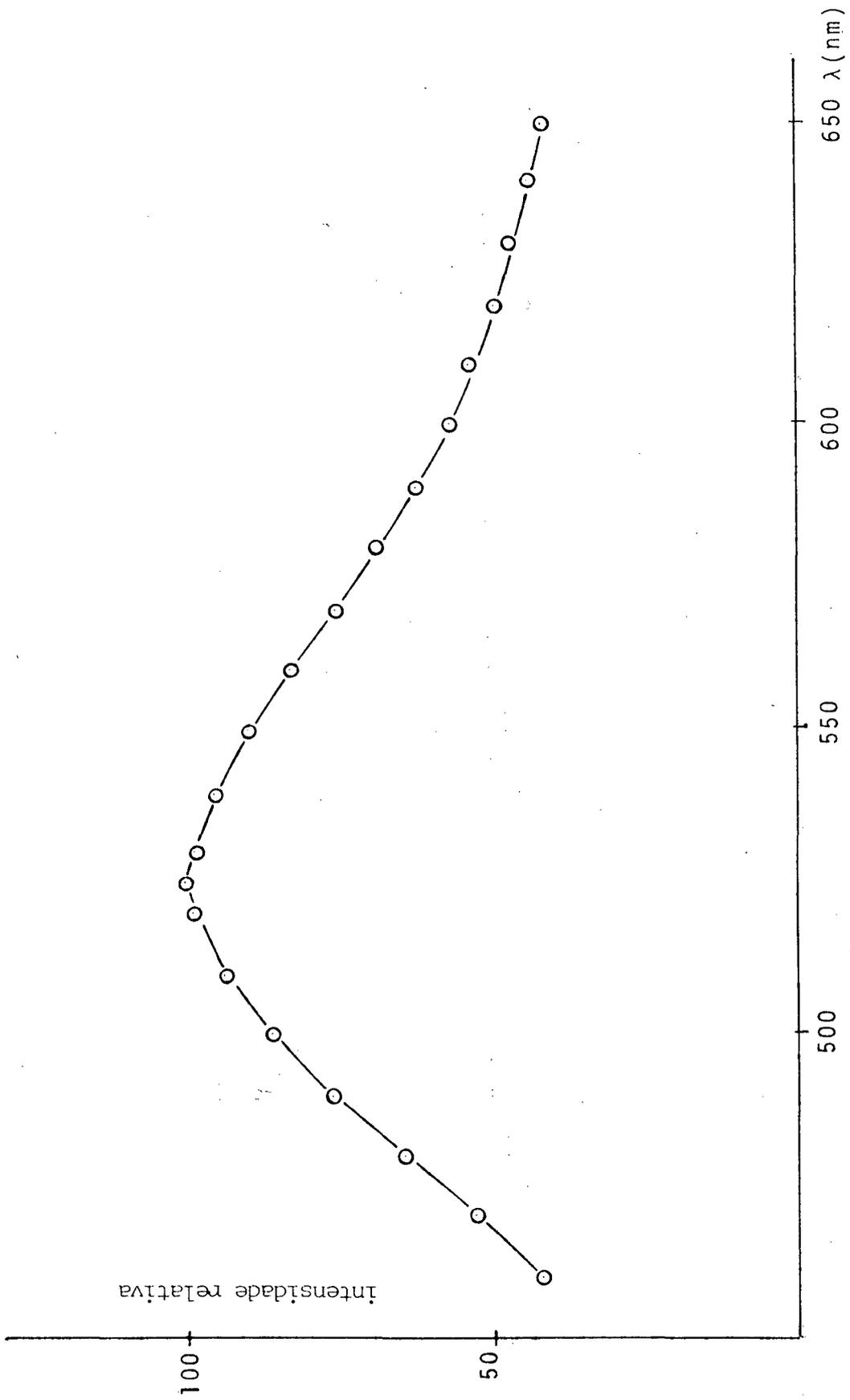
TABELA 3.1. - Amostras de CC e CN com suas respectivas percen  
tagens.

AMOSTRAS	% CC	% CN	MASSA TOTAL (g)
01	30	70	2,0000
02	27	73	2,0000
03	25	75	2,0000
04	22	78	2,0000
05	20	80	2,0000
06	22	82	2,0000

TABELA 3.2. - Comprimentos de onda da luz incidente utilizada para determinações do  $\lambda_{\text{máx}}$  e  $\Delta\lambda$  nas operações de filtragem; e seus respectivos fatores de correção.

$\lambda$ (nm)	$F \cdot 10^{-2}$	$\lambda$ (nm)	$F \cdot 10^{-2}$	$\lambda$ (nm)	$F \cdot 10^{-2}$
400	2,11	500	85,55	600	57,41
405	2,98	505	89,77	605	55,18
410	4,34	510	93,68	610	53,63
415	6,32	515	97,27	615	51,58
420	8,43	520	98,76	620	49,72
425	11,28	525	100,00	625	48,73
430	14,63	530	99,01	630	46,99
435	18,72	535	96,64	635	44,89
440	22,63	540	96,09	640	43,65
445	26,84	545	93,55	645	42,34
450	31,80	550	90,27	650	41,85
455	37,20	555	86,79	655	40,79
460	42,59	560	82,95	660	39,99
465	47,68	565	79,36	665	39,18
470	53,56	570	75,82	670	38,50
475	59,64	575	72,04	675	37,32
480	64,97	580	68,94	680	36,45
485	70,60	585	65,84	685	35,15
490	76,07	590	62,86	690	33,85
495	81,40	595	60,01	695	32,49
				700	30,87

FIG. 3.3 Curva de calibração do sistema ótico.



## C A P I T U L O I V

DISCUSSÃO4.1. Resultados experimentais:

Os dados experimentais deste trabalho, estão reunidos nas tabelas numeradas de 4.1 a 4.6 . Estas tabelas representam a intensidade relativa da luz transmitida através da amostra da mistura de cristais líquidos colestéricos entre dois polarizadores cruzados, versus, o comprimento de onda ( $\lambda$ ) da luz incidente.

Cada tabela corresponde a uma amostra da mistura de CC e CN, cujas percentagens, em massa, e as temperaturas, em  $^{\circ}\text{C}$ , estão indicadas nas tabelas. Os dados das tabelas foram determinados pela equação 3.2, sendo que a intensidade da luz transmitida está indicada em unidades arbitrárias.

As figuras numeradas de 4.1 a 4.12 foram traçadas a partir dos dados das tabelas, onde a percentagem em massa de cada componente e a temperatura estão indicadas ao alto, à direita. Nestas figuras é possível determinar-se a largura ( $\Delta\lambda$ ) da banda de filtragem e o correspondente  $\lambda_{\text{máx}}$  transmitido, da amostra colestérica.

Na tabela 4.7 anotamos o  $\lambda_{\text{máx}}$  da banda de filtragem e sua correspondente largura  $\Delta\lambda$  em seis diferentes temperaturas. Indicamos também os valores de  $\Delta\lambda/\lambda$ .

As curvas das figuras de 4.13 a 4.17 foram traçadas para diferentes temperaturas de cada amostra.

Na FIG. 4.18 mostramos a banda de filtragem para diferentes concentrações de CC, nas misturas para uma mesma temperatura de 40  $^{\circ}\text{C}$ .

TABELA 4.1. - Intensidade Relativa, em unidades arbitrarias versus comprimento de onda ( $\lambda$ ), da componente da luz incidente que é transmitida através da película de cristal líquido colestérico, com 30% CC e 70% CN; nas temperaturas de 40°C, 36°C; 34°C; 32°C; 30°C e 28°C. Os dados da tabela estão corrigidos em função da sensibilidade do sistema ótico.

INTENSIDADE RELATIVA (Unidades Arbitrárias).  $10^{-2}$ 

T (°C)	40	36	34	32	30	28
λ (nm)						
460	4,82	3,93	4,12	3,89	3,79	3,61
470	7,33	6,14	6,38	6,14	5,84	5,72
480	10,57	9,11	9,21	8,92	8,66	8,49
490	14,49	12,23	12,87	12,16	12,00	11,58
500	18,33	15,95	16,67	15,86	16,07	15,56
510	22,13	19,23	20,52	20,21	19,74	19,94
520	25,28	22,13	24,02	23,53	22,65	23,82
530	26,91	24,22	26,16	25,83	25,69	26,54
540	27,64	25,32	27,71	27,97	27,83	28,61
550	27,23	25,80	27,92	29,81	30,41	31,13
560	27,49	27,52	30,86	32,91	34,25	36,32
570	28,89	31,00	35,18	39,22	42,28	45,86
580	30,36	33,77	39,45	45,85	49,99	56,10
585	36,85	45,62	55,69	66,72	75,04	81,96
590	42,55	55,80	67,94	80,95	88,42	94,34
595	52,51	70,01	83,81	95,29	98,94	100,00
600	65,17	85,05	95,52	100,00	100,00	96,67
605	80,15	96,27	100,00	98,02	94,29	88,60
610	94,40	100,00	98,57	91,39	86,12	79,25
615	100,00	94,15	91,40	80,35	73,95	66,91
620	99,46	85,31	80,57	68,60	60,95	53,32
625	94,78	76,36	70,02	56,15	48,42	40,31
630	84,20	63,67	55,78	41,74	33,48	27,23
635	70,55	47,69	38,90	26,95	20,79	16,62
640	55,78	33,00	25,60	18,43	13,14	10,41
645	40,84	21,43	16,98	11,24	9,05	7,13
650	28,48	13,67	10,85	7,83	6,12	5,19

TABELA 4.2. - Intensidade Relativa, em unidades arbitrárias versus comprimento de onda ( $\lambda$ ) da componente da luz incidente que é transmitida através da película de cristal líquido colestérico, com 27% CC e 73% CN; nas temperaturas de  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $36^{\circ}\text{C}$ ;  $34^{\circ}\text{C}$ ;  $32^{\circ}\text{C}$ ;  $30^{\circ}\text{C}$  e  $28^{\circ}\text{C}$ . Os dados da tabela estão corrigidos em função da sensibilidade do sistema ótico.

INTENSIDADE RELATIVA (Unidades Arbitrárias)  $10^{-2}$

T (°C)						
$\lambda$ (nm)	40	36	34	32	30	28
460	3,70	3,46	3,12	3,33	3,07	3,11
470	5,81	5,61	5,05	5,29	4,96	5,03
480	8,71	8,42	7,79	7,90	7,56	7,70
490	12,63	12,36	11,31	11,65	11,36	11,13
500	17,05	16,72	15,68	16,16	15,59	15,64
510	22,37	21,95	21,53	21,96	21,31	21,75
520	28,24	28,14	27,96	28,95	28,88	29,76
530	34,64	35,56	36,49	38,90	39,25	40,70
540	43,92	47,75	50,25	54,23	56,88	60,58
545	51,72	55,85	61,91	65,89	70,11	73,95
550	62,36	68,66	76,37	80,53	83,64	88,31
555	75,79	82,58	89,13	92,69	95,69	98,28
560	88,55	94,07	98,72	99,84	100,00	100,00
565	96,97	100,00	100,00	100,00	97,15	96,15
570	100,00	98,30	94,36	93,48	87,89	84,21
575	94,10	87,13	82,62	79,82	73,80	70,34
580	83,62	74,20	69,04	65,02	58,91	55,65
585	69,61	60,63	52,78	49,52	43,79	40,92
590	54,42	45,89	37,68	35,68	30,42	27,83
595	38,70	31,30	24,98	23,44	18,84	17,55
600	26,39	20,69	15,93	14,58	11,35	10,84
610	10,41	8,34	5,95	5,41	4,47	4,29
620	4,06	3,75	2,48	2,32	2,00	2,11
630	2,04	2,21	1,41	1,33	1,16	1,35
640	1,28	1,59	0,97	0,81	0,76	0,91

TABELA 4.3. - Intensidade Relativa, em unidades arbitrárias versus comprimento de onda ( $\lambda$ ) da componente da luz incidente que é transmitida através da película de cristal líquido colestérico, com 25% CC e 75% CN; nas temperaturas de 40°C, 36°C; 34°C; 32°C; 30°C e 28°C. Os dados da tabela estão corrigidos em função da sensibilidade do sistema ótico.

INTENSIDADE RELATIVA (Unidades Arbitrarias)  $10^{-2}$

T (°C)						
$\lambda$ (nm)	40	36	34	32	30	28
460	4,48	4,11	4,47	4,20	4,34	4,28
470	7,21	6,79	7,19	6,88	7,26	7,09
480	11,08	10,39	10,89	10,46	10,87	10,62
490	16,17	15,57	16,25	15,70	15,79	15,84
500	22,59	22,02	23,31	22,23	22,55	22,74
510	31,34	31,50	32,88	32,87	32,92	33,37
520	44,37	46,30	48,22	48,92	48,82	50,59
525	52,92	57,41	58,14	61,63	60,84	63,74
530	65,31	70,16	71,34	74,49	77,17	78,30
535	78,90	85,08	86,73	88,39	87,70	91,60
540	90,78	95,24	96,00	98,78	98,88	99,82
545	99,41	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
550	100,00	95,28	94,70	93,32	92,72	91,60
555	90,67	82,31	81,51	79,38	78,20	76,17
560	75,49	65,81	66,36	62,18	61,79	58,48
565	58,44	48,19	48,86	45,34	44,94	41,67
570	39,97	31,77	31,67	28,81	28,63	26,66
580	14,51	10,48	10,61	9,57	8,96	8,50
590	3,77	2,82	3,02	3,13	2,88	2,76
600	1,09	1,06	1,24	1,51	1,23	1,31
610	0,51	0,63	0,79	1,06	0,80	0,93

TABELA 4.4. - Intensidade Relativa, em unidades arbitrárias versus comprimento de onda ( $\lambda$ ) da componente da luz incidente que é transmitida através da película de cristal líquido colestérico, com 22% Cc e 78% CN; nas temperaturas de 40°C, 36°C; 34°C; 32°C; 30°C e 28°C. Os dados da tabela estão corrigidos em função da sensibilidade do sistema ótico.

INTENSIDADE RELATIVA (Unidades Arbitrárias)  $10^{-2}$

T (°C)	40	36	34	32	30	28
$\lambda$ (nm)						
460	5,79	5,95	6,00	3,90	3,46	3,66
470	9,52	9,95	9,95	7,07	6,40	6,75
480	15,16	16,00	16,14	12,39	11,91	12,20
490	25,76	27,37	27,35	23,91	23,03	22,67
500	45,53	48,52	48,80	47,16	45,83	45,13
505	60,53	62,89	63,28	64,19	62,75	60,62
510	77,21	79,40	80,49	82,34	81,64	79,84
515	92,63	94,59	94,71	96,47	96,02	94,66
520	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
525	99,21	97,84	97,67	95,71	95,77	96,99
530	88,39	87,58	87,73	82,45	83,00	85,39
535	72,62	71,32	71,10	64,00	64,85	68,06
540	56,58	54,33	54,81	50,34	48,92	52,62
550	27,76	26,70	26,80	20,10	20,81	22,83
560	13,26	12,17	12,35	7,81	7,98	9,48
570	7,91	6,91	7,21	3,76	3,65	4,43
580	5,27	4,60	4,70	2,14	2,00	2,70
590	3,81	3,29	3,44	1,37	1,25	1,89
600	3,02	2,43	2,63	0,96	0,86	1,44
610	2,40	1,98	2,12	0,68	0,71	1,16

TABELA 4.5. - Intensidade Relativa, em unidades arbitrárias versus comprimento de onda ( $\lambda$ ) da componente da luz incidente que é transmitida através da película de cristal líquido colestérico, com 20% CC e 80% CN; nas temperaturas de 40°C, 36°C; 34°C; 32°C; 30°C e 28°C. Os dados da tabela estão corrigidos em função da sensibilidade do sistema ótico.

INTENSIDADE RELATIVA (Unidades Arbitrárias) /  $10^{-2}$

T (°C)						
λ (nm)	40	36	34	32	30	28
460	5,64	5,34	5,31	9,85	4,64	4,27
470	11,85	11,16	10,67	9,90	9,23	8,04
480	25,21	23,23	21,81	20,33	18,10	15,39
490	52,41	48,99	45,70	42,48	36,88	31,64
495	71,44	67,33	63,84	58,43	52,97	45,20
500	86,34	83,35	79,84	75,22	69,22	59,42
505	96,73	95,26	93,65	90,87	85,11	77,04
510	100,00	100,00	100,00	99,40	96,68	91,62
515	92,54	95,26	95,25	100,00	100,00	100,00
520	78,56	84,53	86,67	91,62	95,06	98,77
525	60,52	65,82	70,27	76,27	83,20	90,69
530	40,83	46,18	51,18	57,36	64,21	75,09
535	25,62	29,83	33,31	39,10	45,84	56,12
540	16,43	19,42	22,01	24,96	31,58	39,55
550	6,89	7,77	8,42	10,07	12,04	16,23
560	3,41	3,93	3,97	4,78	5,20	6,57
570	2,10	2,21	2,26	2,44	2,74	3,12
580	1,39	1,41	1,41	1,50	1,68	1,79
590	0,95	0,94	0,89	0,99	1,07	1,09
600	0,72	0,73	0,63	0,73	0,72	0,79
610	0,67	0,59	0,55	0,64	0,67	0,62

TABELA 4.6. - Intensidade Relativa, em unidades arbitrárias versus comprimento de onda ( $\lambda$ ) da componente da luz incidente que é transmitida através da película de cristal líquido colestérico, com 18% CC e 82% CN; nas temperaturas de 40°C ; 36°C; 34°C; 32°C; 30°C e 28°C. Os dados da tabela estão corrigidos em função da sensibilidade do sistema ótico.

INTENSIDADE RELATIVA (Unidades Arbitrárias)  $10^{-2}$ 

T (°C)	40	36	34	32	30	28
$\lambda$ (nm)						
460	18,68	15,51	9,57	7,47	6,04	5,81
470	34,60	29,04	19,01	14,19	10,69	9,47
480	57,53	50,45	36,51	26,10	18,05	14,51
485	67,21	62,47	49,90	35,55	23,70	17,88
490	74,89	71,84	66,15	49,39	31,00	22,13
495	82,57	78,43	81,13	65,33	40,79	27,10
500	90,16	82,32	90,14	79,43	51,87	32,03
505	98,67	88,39	96,07	90,60	66,51	38,82
510	100,00	97,72	99,92	98,01	82,34	46,35
515	91,32	100,00	100,00	100,00	95,15	56,80
520	72,55	91,01	92,84	98,59	99,92	66,99
525	57,45	73,90	74,14	92,51	100,00	78,04
530	44,83	55,47	57,72	80,08	93,69	88,45
535	33,72	39,96	38,69	62,31	85,59	93,53
540	28,20	30,40	27,26	44,57	76,57	100,00
545	22,99	23,51	18,69	30,43	63,49	96,58
550	19,04	18,83	13,08	20,19	47,52	88,13
555	16,11	15,21	9,56	13,60	32,84	77,95
560	13,60	12,58	7,34	9,67	22,16	68,31
565	11,79	10,58	5,78	7,25	14,71	58,04
570	10,26	8,89	4,59	5,57	10,03	46,30
580	7,73	6,40	3,05	3,45	5,37	24,11
590	5,97	4,83	2,16	2,40	3,22	10,59
600	4,74	3,68	1,60	1,71	2,15	5,35
610	3,87	2,95	1,27	1,31	1,56	3,18

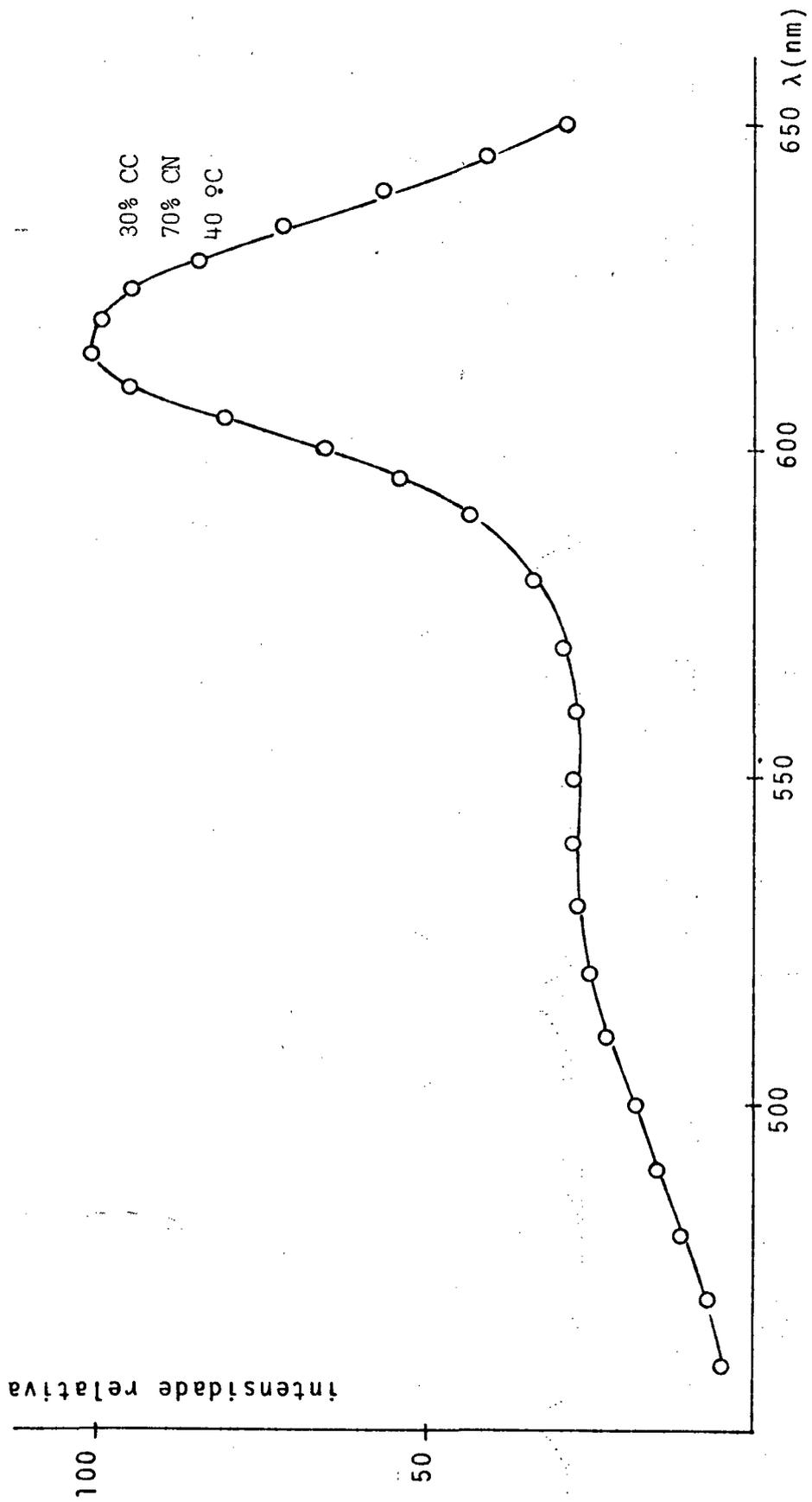
TABELA 4.7. - Apresenta o  $\lambda_{\text{m\~{a}x}}$  da banda de filtragem e sua correspondente largura  $\Delta\lambda$  e a raz\~{a}o  $\Delta\lambda/\lambda$  ; nas temperaturas de 40°C, 36°C, 34°C, 32°C, 30°C e 28°C para as misturas bin\~{a}rias utilizadas nas concentra\~{c}o\~{e}s de 18%, 20%, 22%, 25%, 27% e 30% de CC.

$\lambda_{\text{m\~{a}x}}$  - \u00e9 o valor de  $\lambda$  correspondente \u00e0 intensidade relativa de 100%.

$\Delta\lambda$  - \u00e9 a largura da banda transmitida, para 50% da intensidade relativa.

CONC. de CC	T (°C)	28°	30°	32°	34°	36°	40°
18%	$\lambda$	540	525	515	515	515	510
	$\Delta\lambda$	55	50	48	45	50	49
	$\Delta\lambda/\lambda$	0,101	0,095	0,093	0,087	0,097	0,096
20%	$\lambda$	515	515	515	510	510	510
	$\Delta\lambda$	40	39	38	38	37	37
	$\Delta\lambda/\lambda$	0,077	0,075	0,073	0,074	0,072	0,072
22%	$\lambda$	520	520	520	520	520	520
	$\Delta\lambda$	38	38	38	40	40	40
	$\Delta\lambda/\lambda$	0,073	0,073	0,073	0,077	0,077	0,077
25%	$\lambda$	545	545	545	545	545	550
	$\Delta\lambda$	42	42	42	42	42	44
	$\Delta\lambda/\lambda$	0,077	0,077	0,077	0,077	0,077	0,080
27%	$\lambda$	560	560	565	565	565	570
	$\Delta\lambda$	47	46	47	46	46	47
	$\Delta\lambda/\lambda$	0,083	0,082	0,083	0,081	0,081	0,082
30%	$\lambda$	595	600	600	605	610	615
	$\Delta\lambda$	49	49	50	49	47	47
	$\Delta\lambda/\lambda$	0,082	0,081	0,083	0,081	0,077	0,077

FIG. 4.1 - Intensidade Relativa, da luz transmitida em função do comprimento de onda, da luz incidente para a mistura dos cristais líquidos colestéricos CC e CN entre polarizadores cruzados.



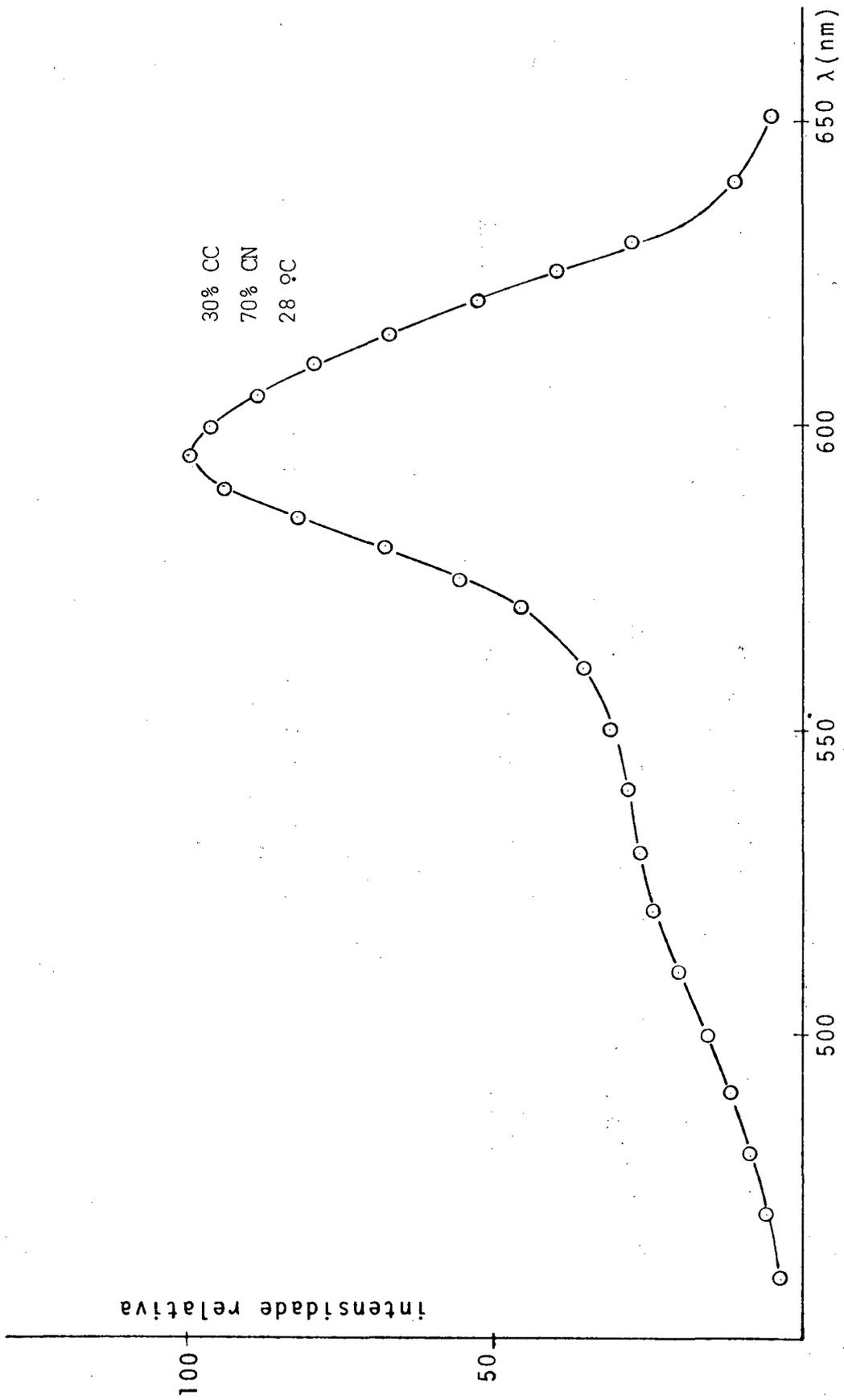


FIG. 4.3 Intensidade Relativa, da luz transmitida em função do comprimento de onda, da luz incidente para a mistura dos cristais líquidos colestéricos CC e CN entre polarizadores cruzados.

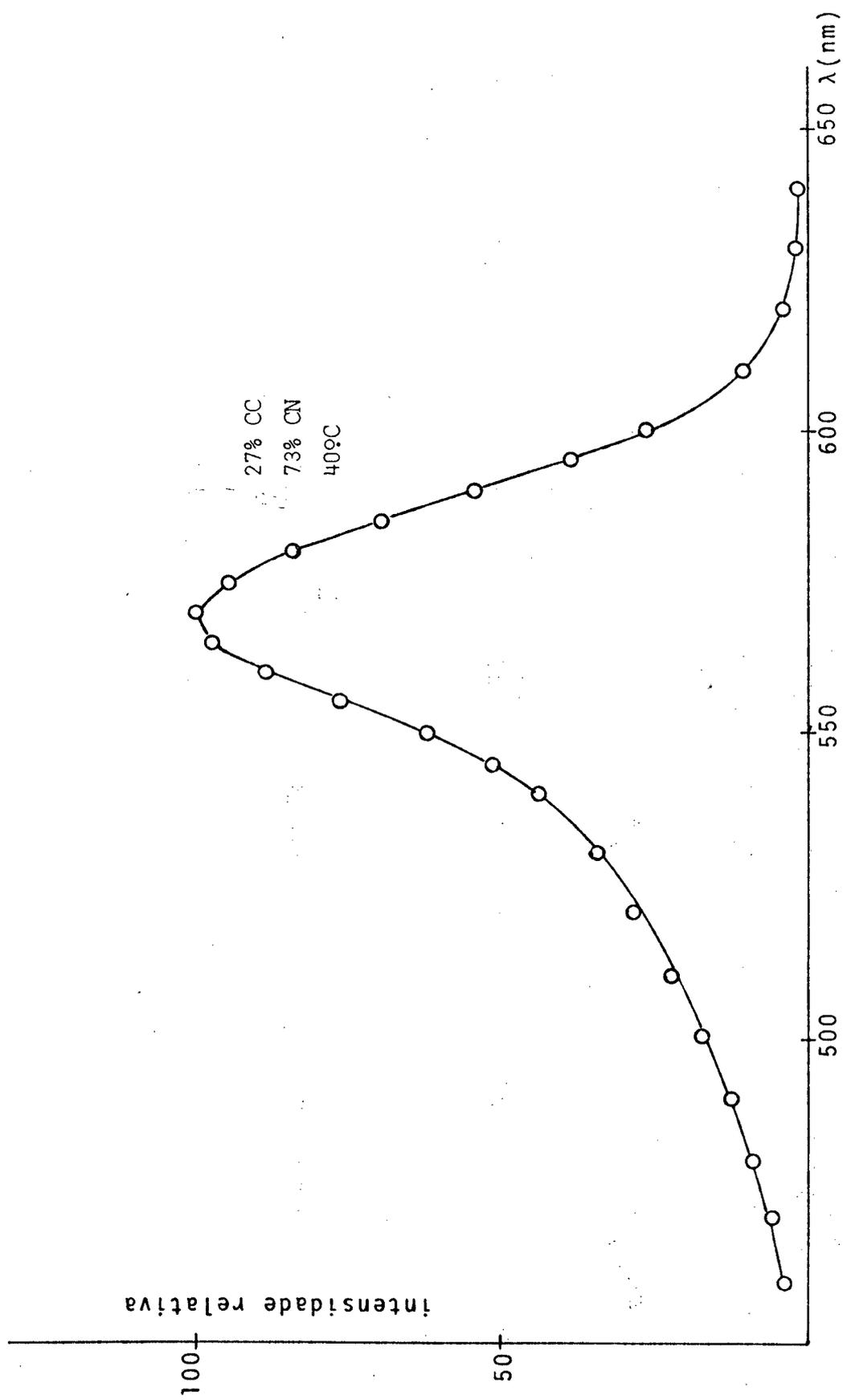


FIG. 4.4 Intensidade Relativa, da luz transmitida em função do comprimento de onda, da luz incidente para a mistura dos cristais líquidos colestéricos CC e CN entre polarizadores cruzados.

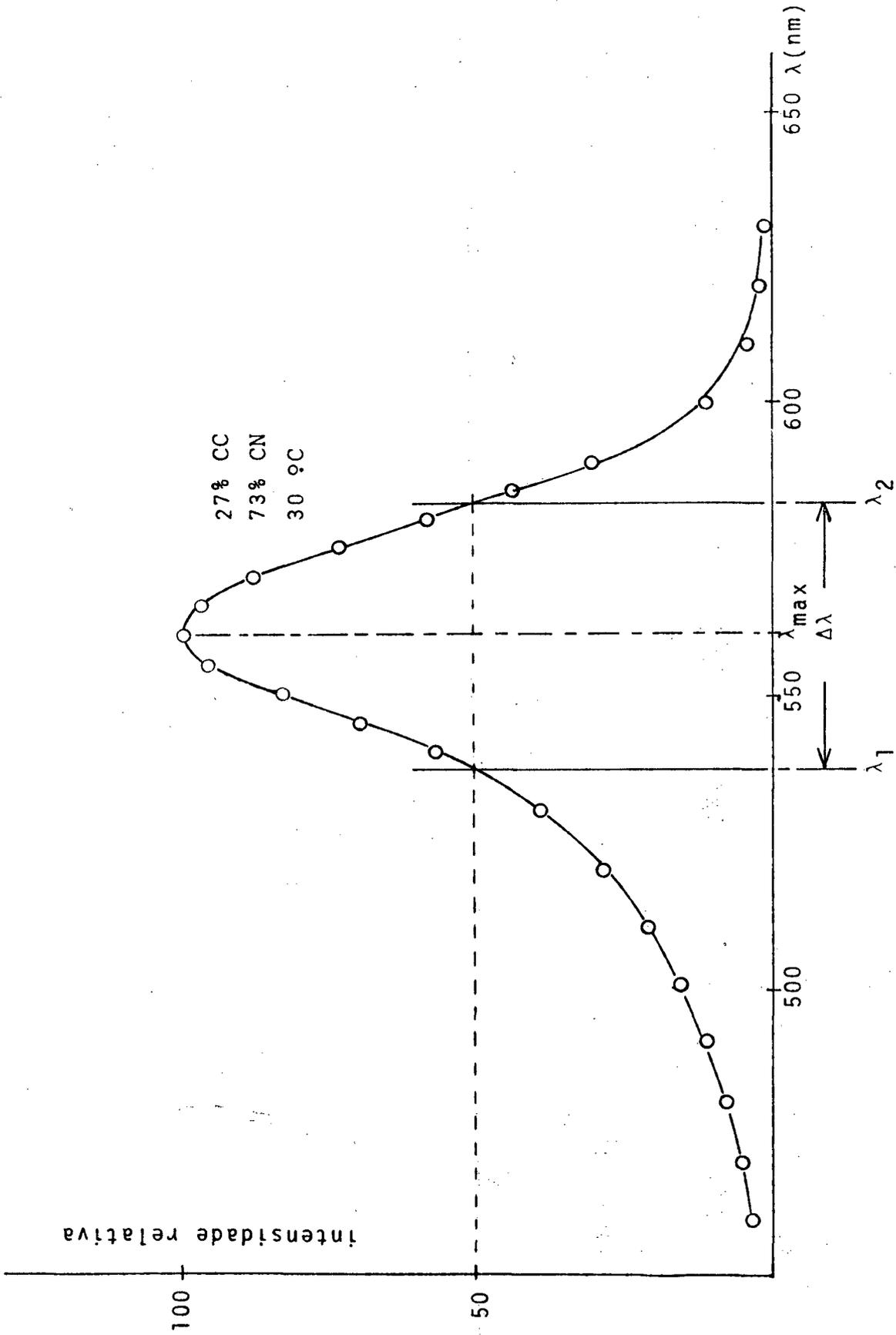


FIG. 4.5 Intensidade Relativa, da luz transmitida em função do comprimento de onda, da luz incidente para a mistura dos cristais líquidos colestericos CC e CN entre polarizadores cruzados.

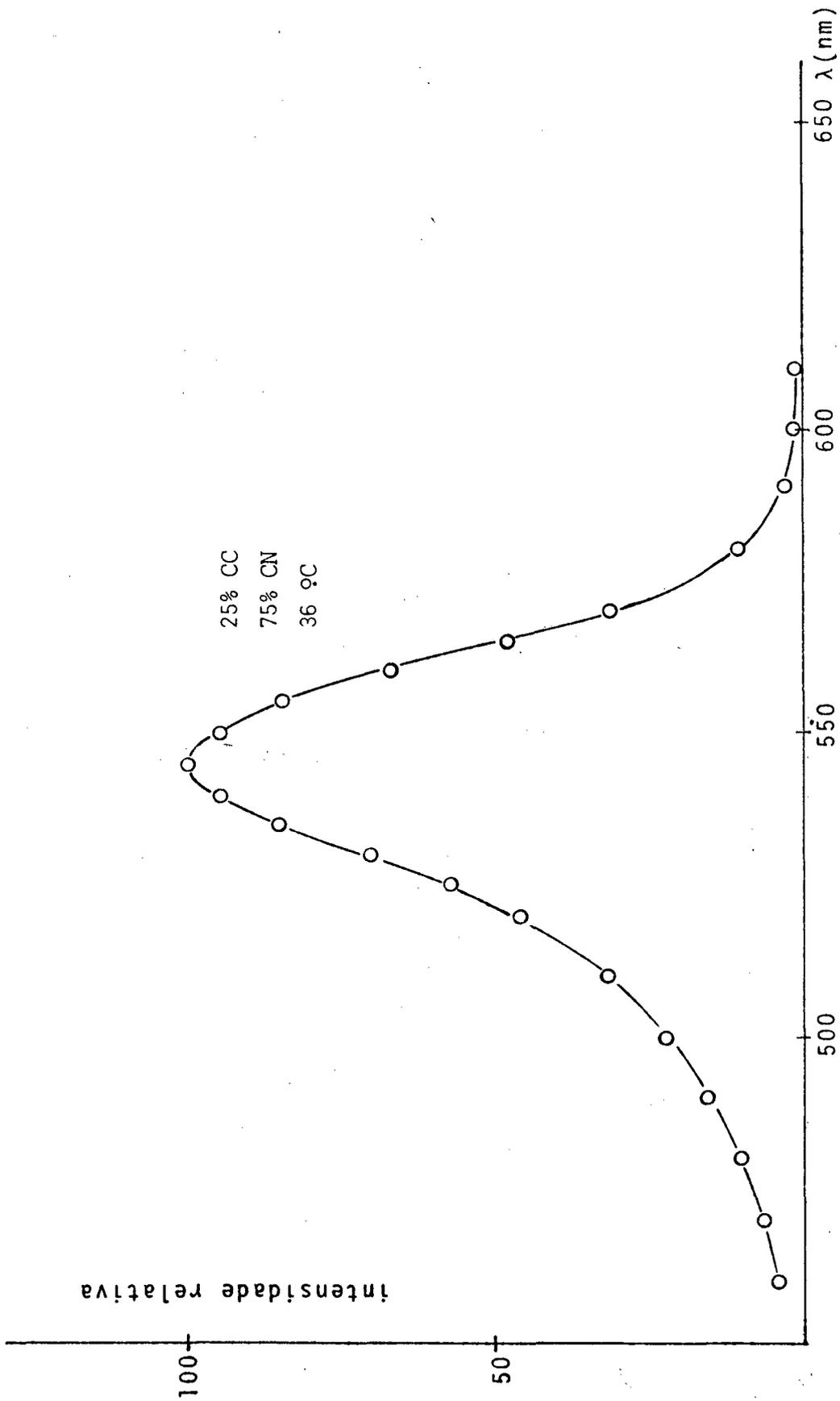


FIG. 4.6 Intensidade Relativa, da luz transmitida em função do comprimento de onda, da luz incidente para a mistura dos cristais líquidos colestéricos CC e CN entre polarizadores cruzados.

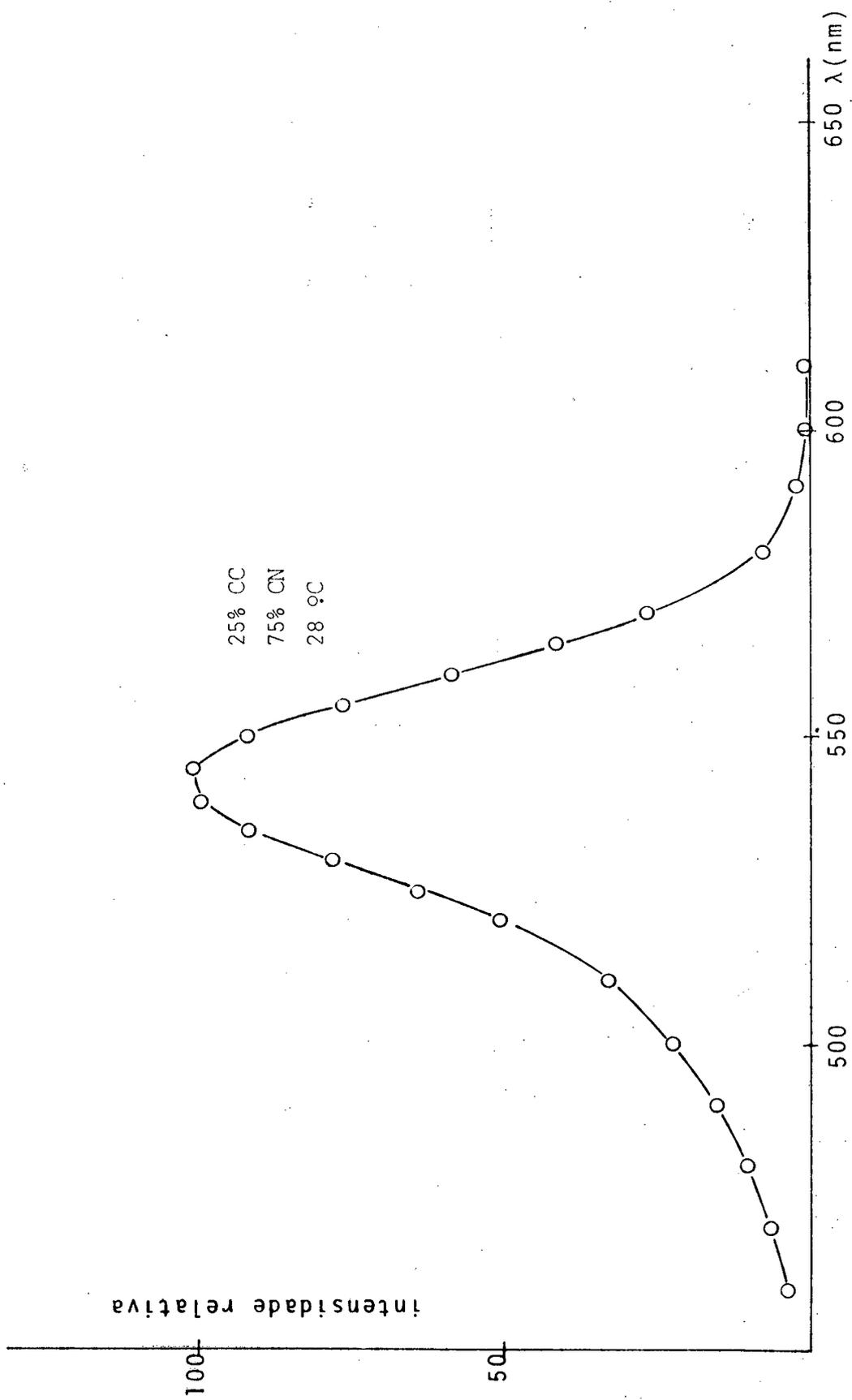


FIG. 4.7 Intensidade Relativa, da luz transmitida em função do comprimento de onda, da luz incidente para a mistura dos cristais líquidos colestéricos CC e CN entre polarizadores cruzados.

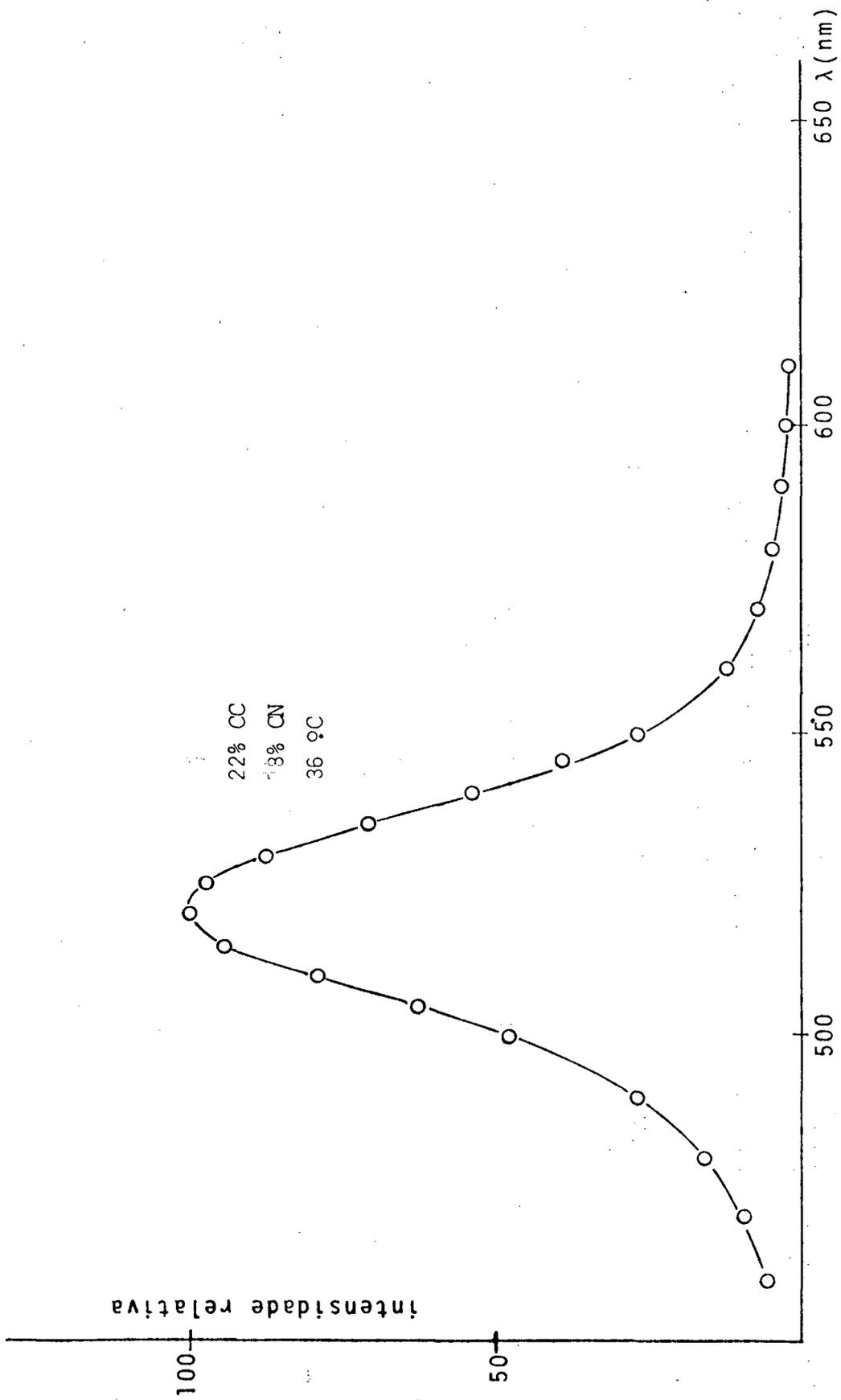


FIG. 4.8 Intensidade Relativa, da luz transmitida em função do comprimento de onda, da luz incidente para a mistura dos cristais líquidos colestéricos CC e CN entre polarizadores cruzados.

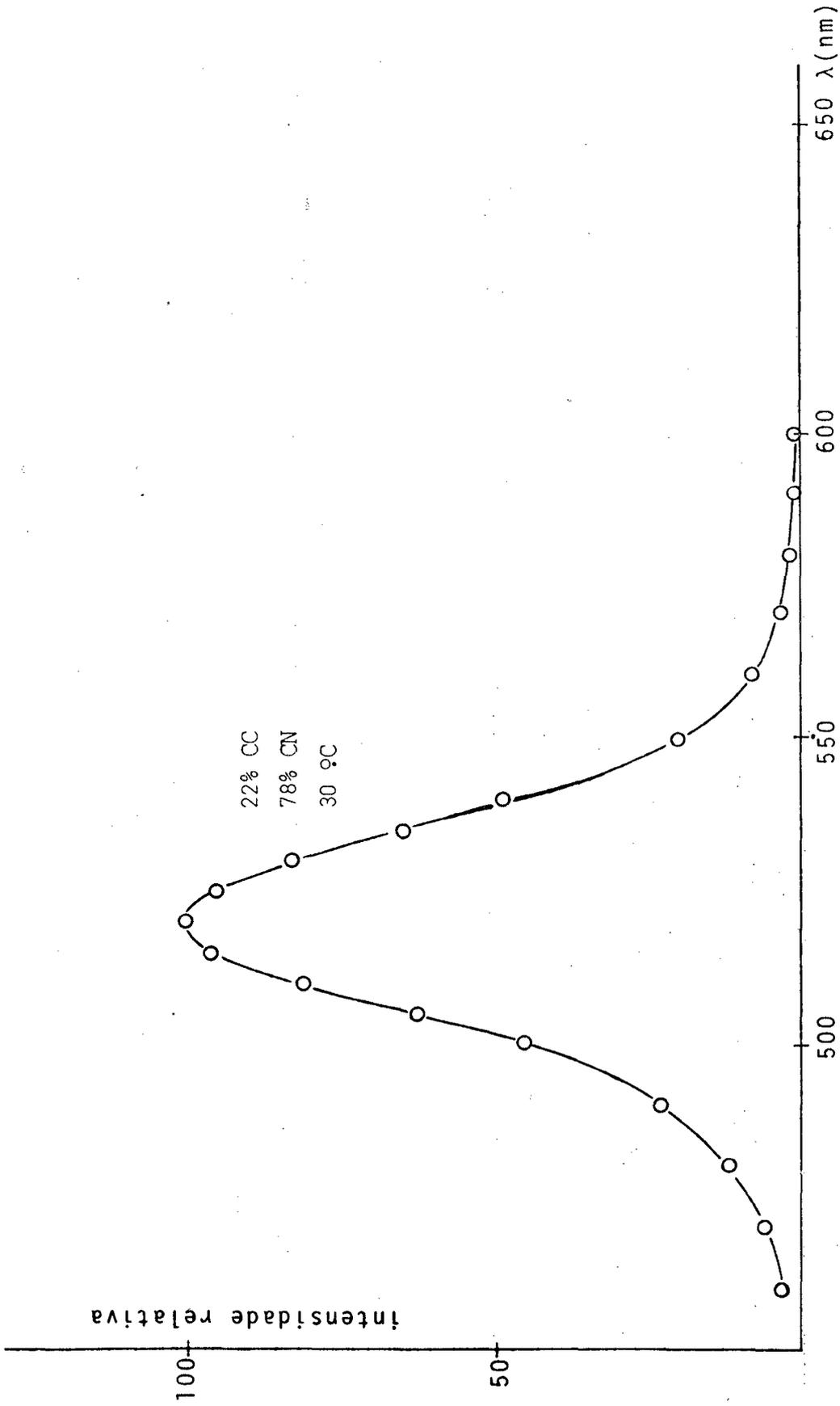


FIG. 4.9 Intensidade Relativa, da luz transmitida em função do comprimento de onda, da luz incidente para a mistura dos cristais líquidos colestéricos CC e CN entre polarizadores cruzados.

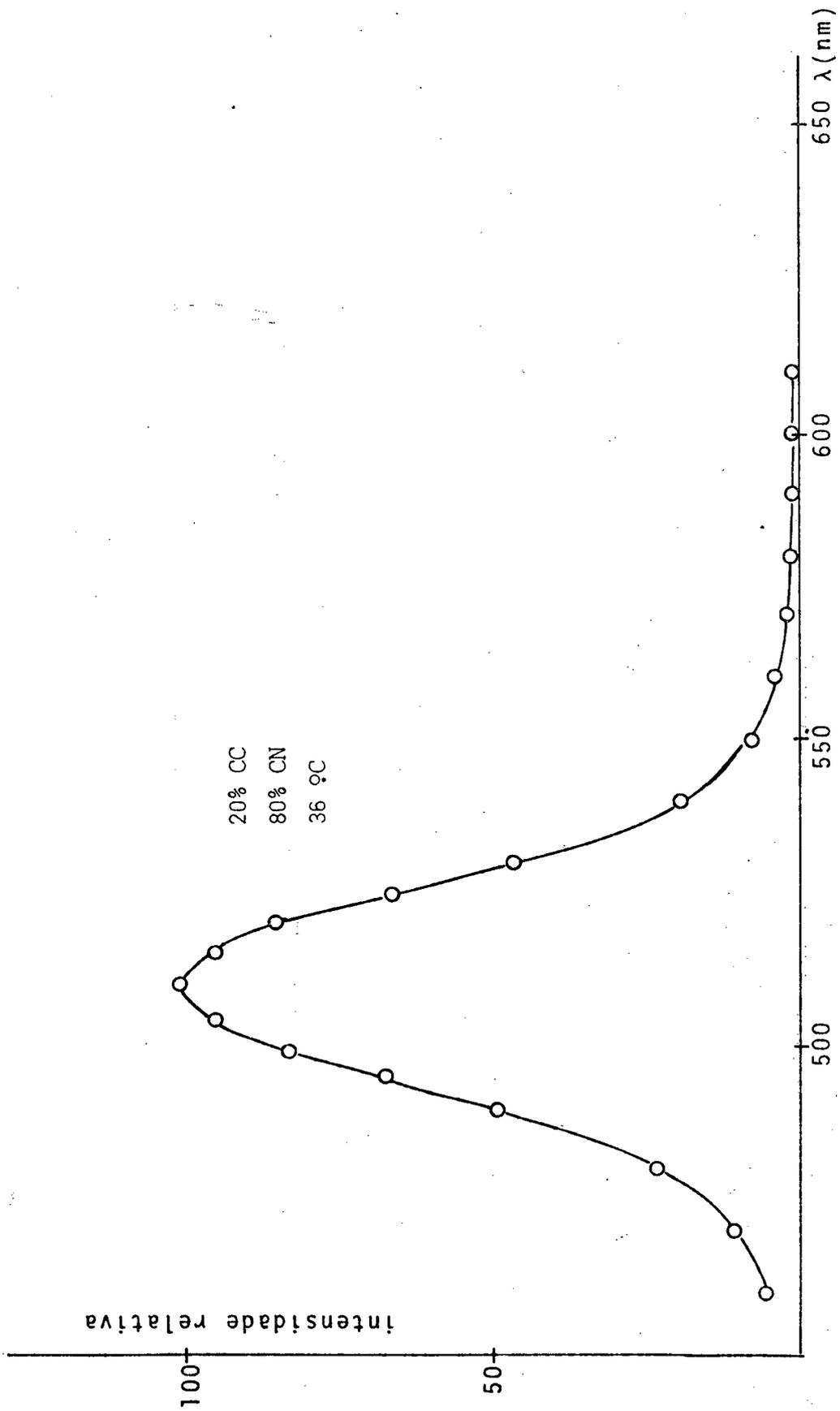


FIG 4.10 Intensidade Relativa, da luz transmitida em função do comprimento de onda, da luz incidente para a mistura dos cristais líquidos colestéricos CC e CN entre polarizadores cruzados.

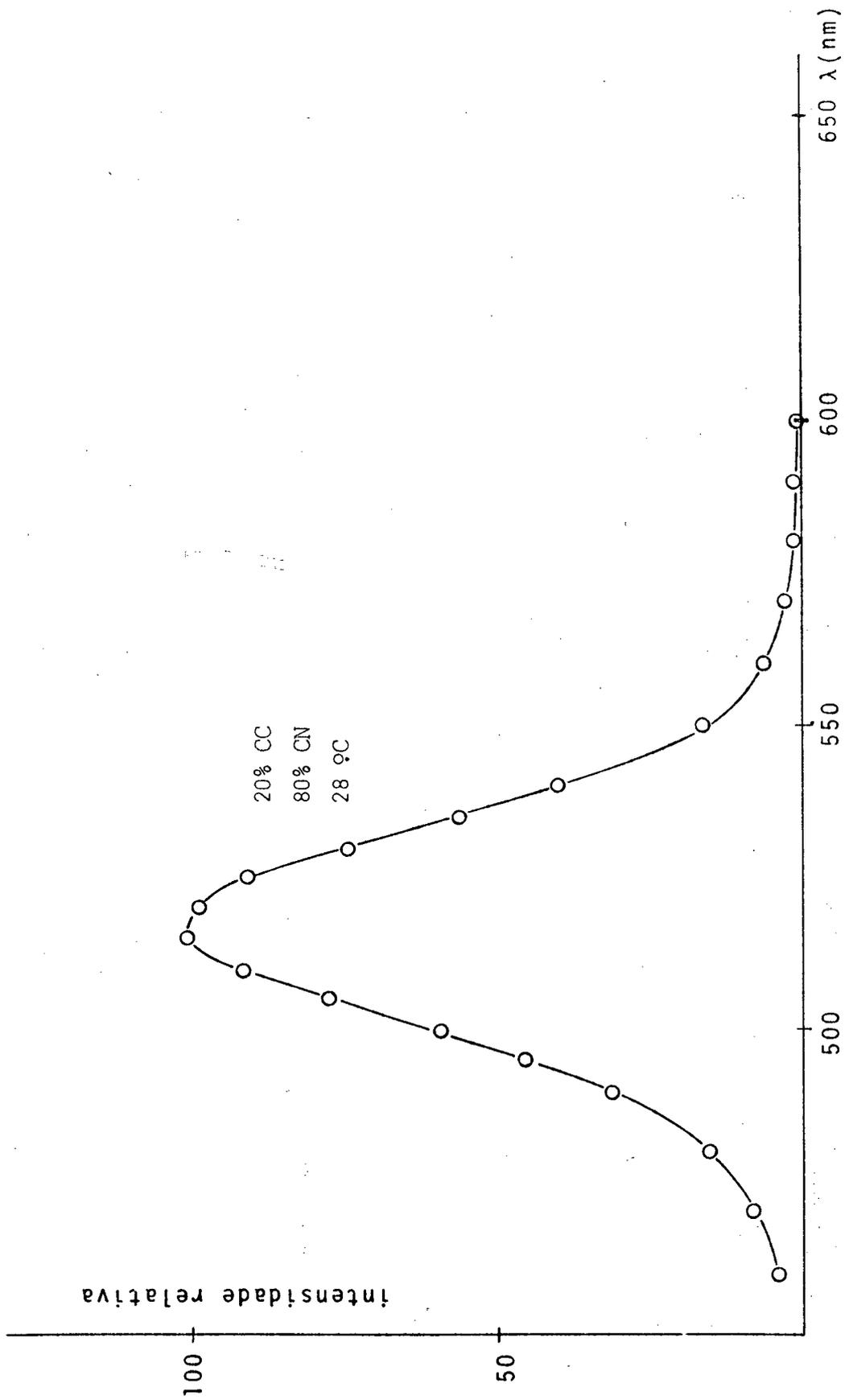


FIG. 4.11 Intensidade Relativa, da luz transmitida em função do comprimento de onda, da luz incidente para a mistura dos cristais líquidos colestéricos CC e CN entre polarizadores cruzados.

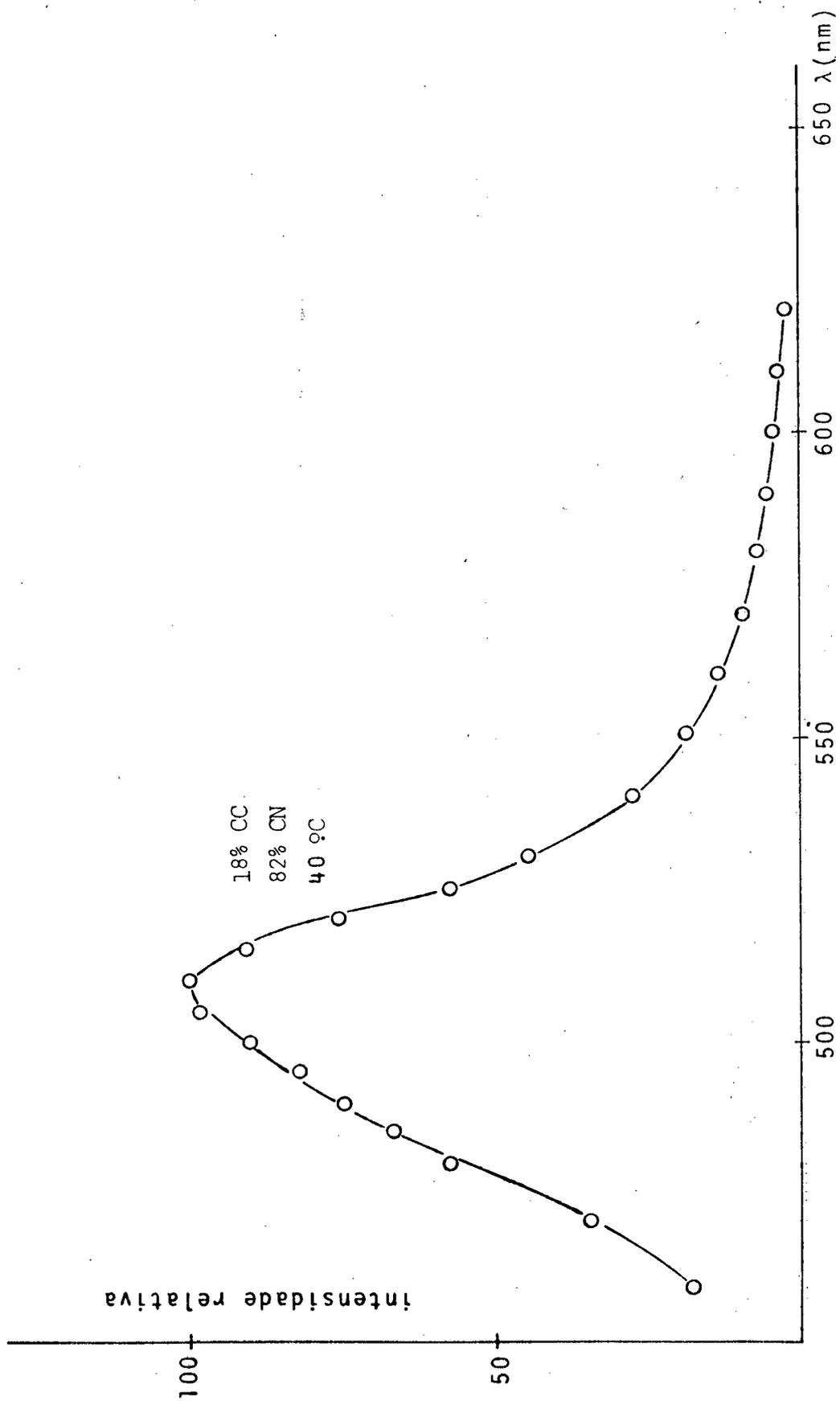


FIG. 4.12 Intensidade Relativa, da luz transmitida em função do comprimento de onda, da luz incidente para a mistura dos cristais líquidos colestéricos CC e CN entre polarizadores cruzados.

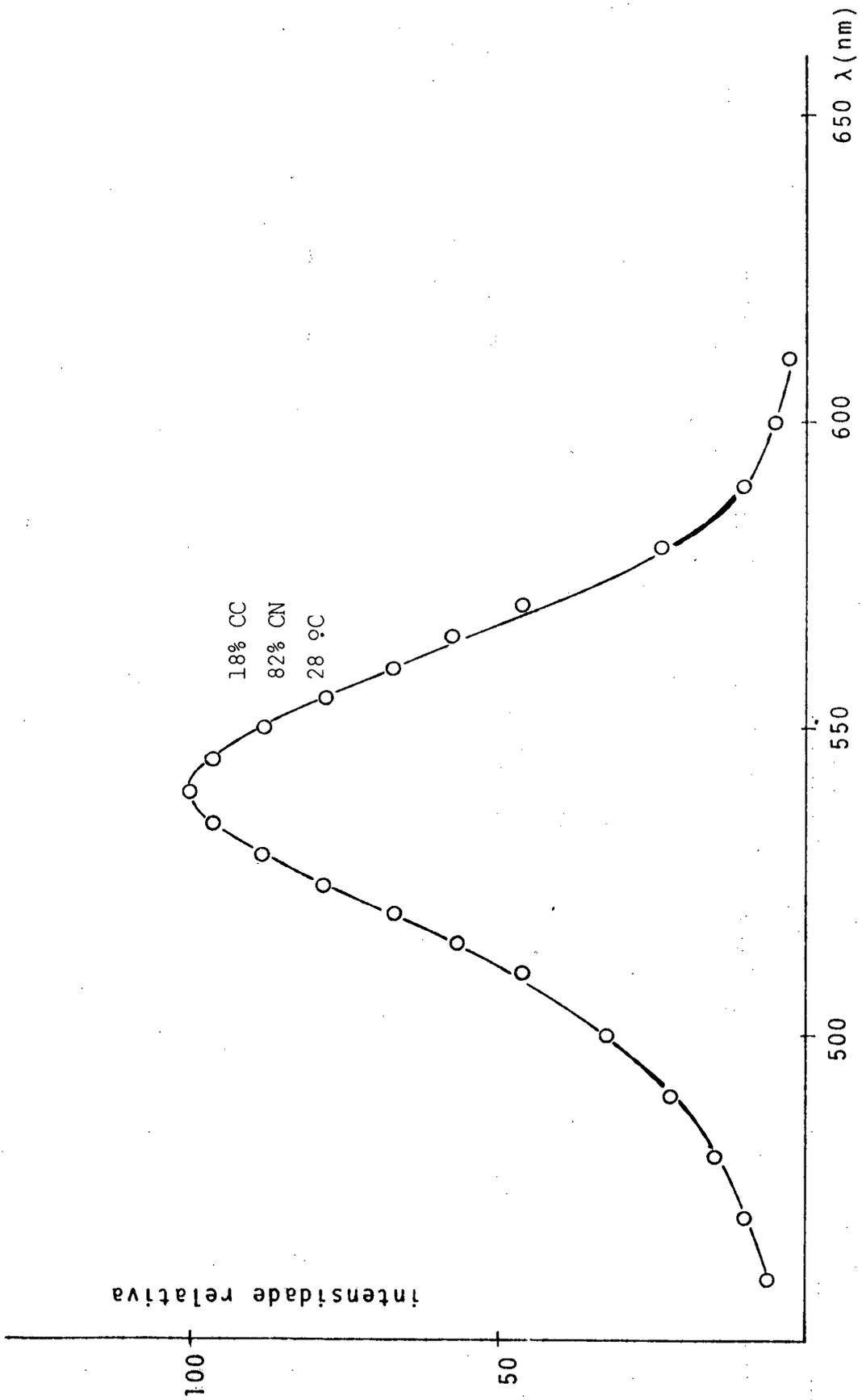


FIG. 4.13 Intensidade Relativa da luz transmitida em função do comprimento de onda da luz incidente, para uma mistura de 30% CC e 70% CN, em massa.

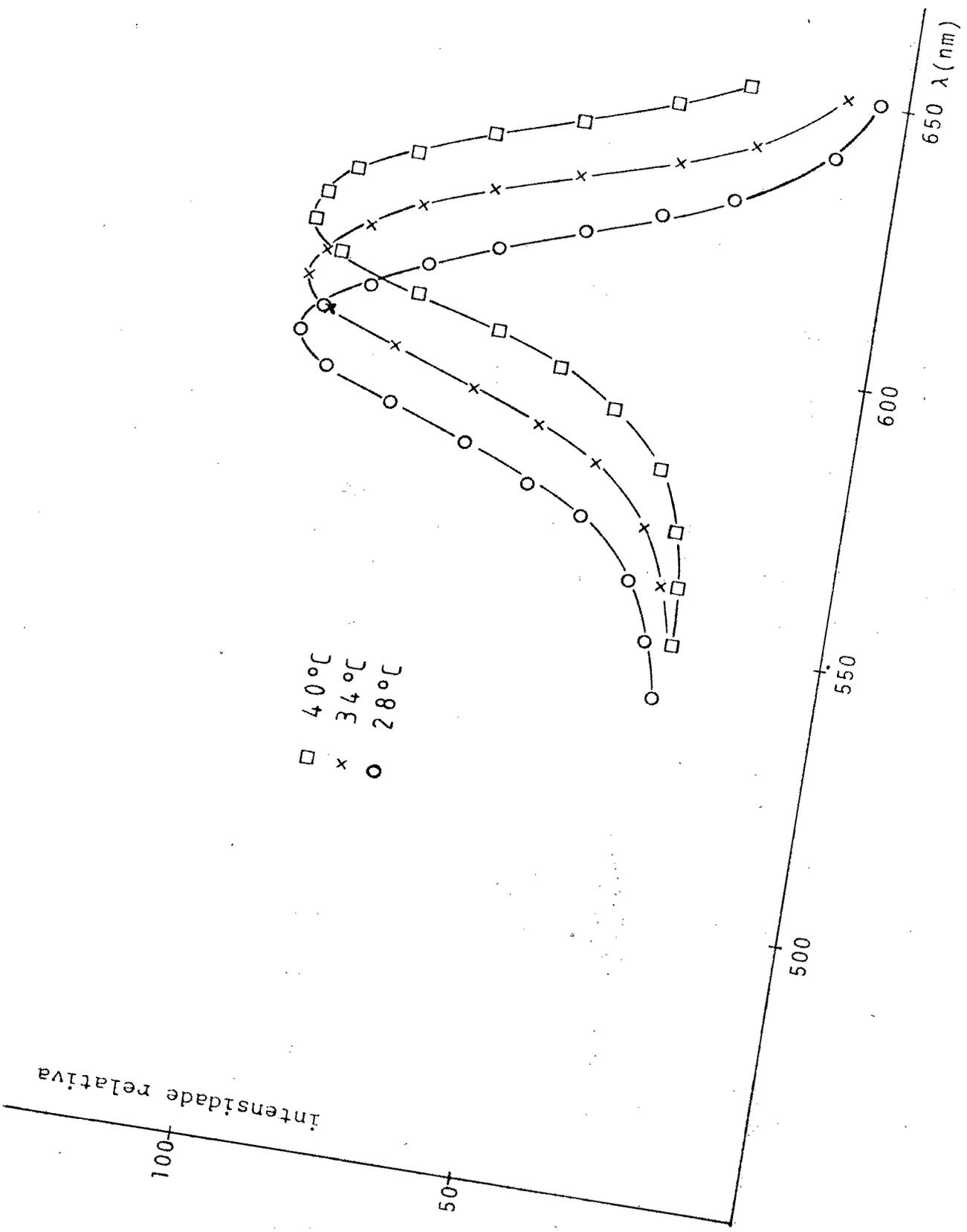


FIG. 4.14 Intensidade Relativa da luz transmitida em função do comprimento de onda da luz incidente, para uma mistura de 27% CC e 73% CN, em massa.

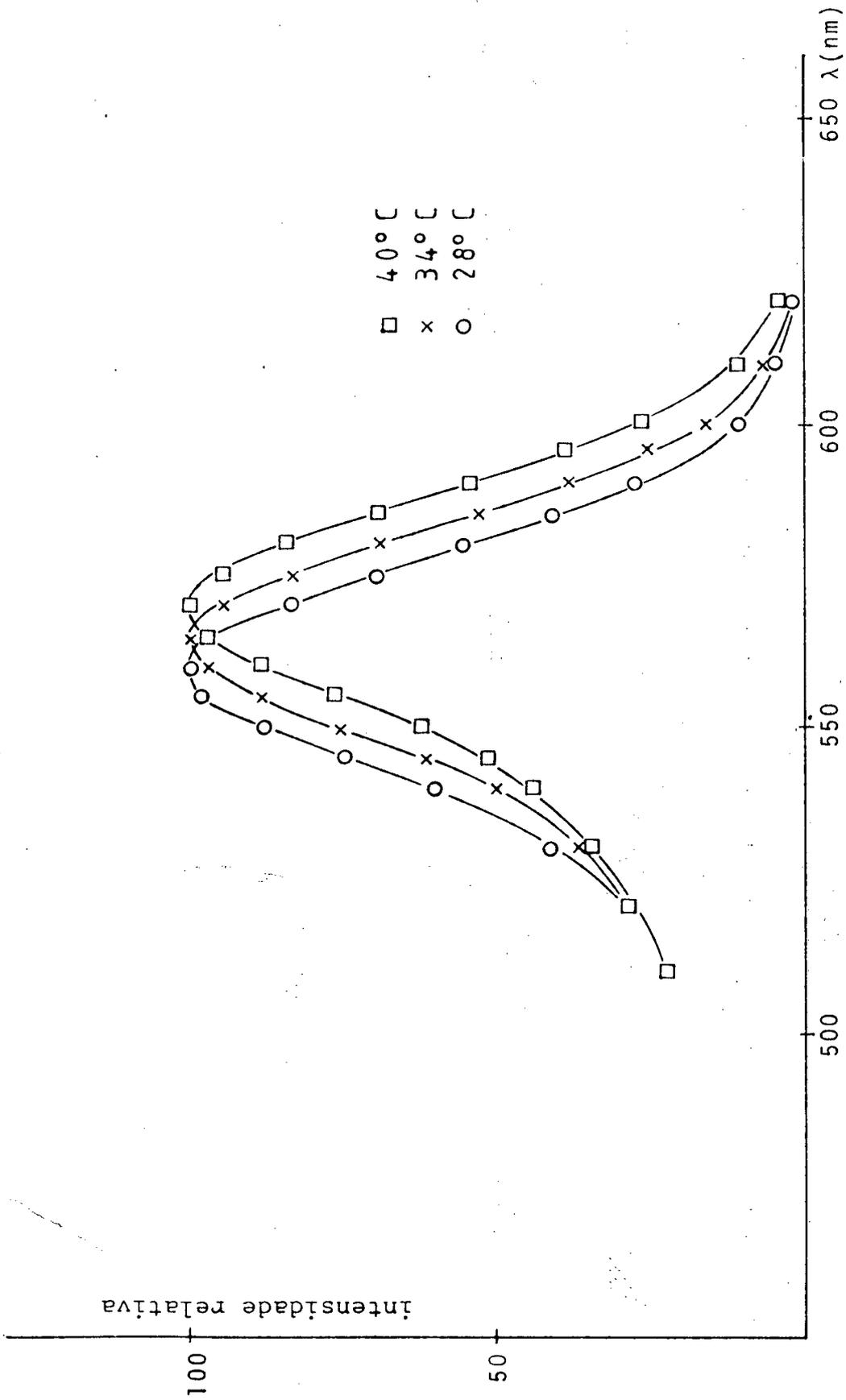


FIG. 4.15 Intensidade Relativa da luz transmitida em função do comprimento de onda da luz incidente, para uma mistura de 25% CC e 75% CN, em massa.

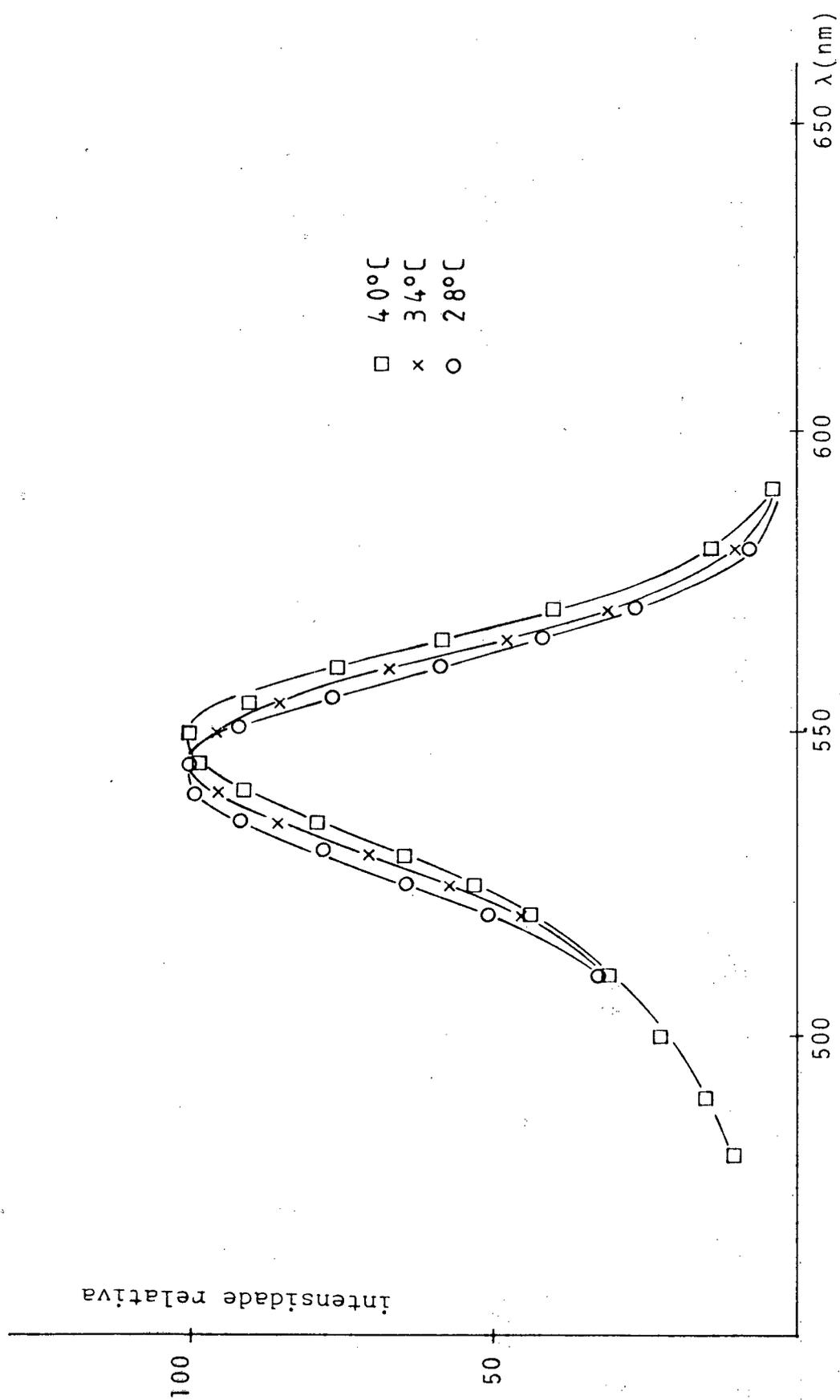


FIG. 4.16 Intensidade Relativa da luz transmitida em função do comprimento de onda da luz incidente, para uma mistura de 20% CC e 78% CN, em massa.

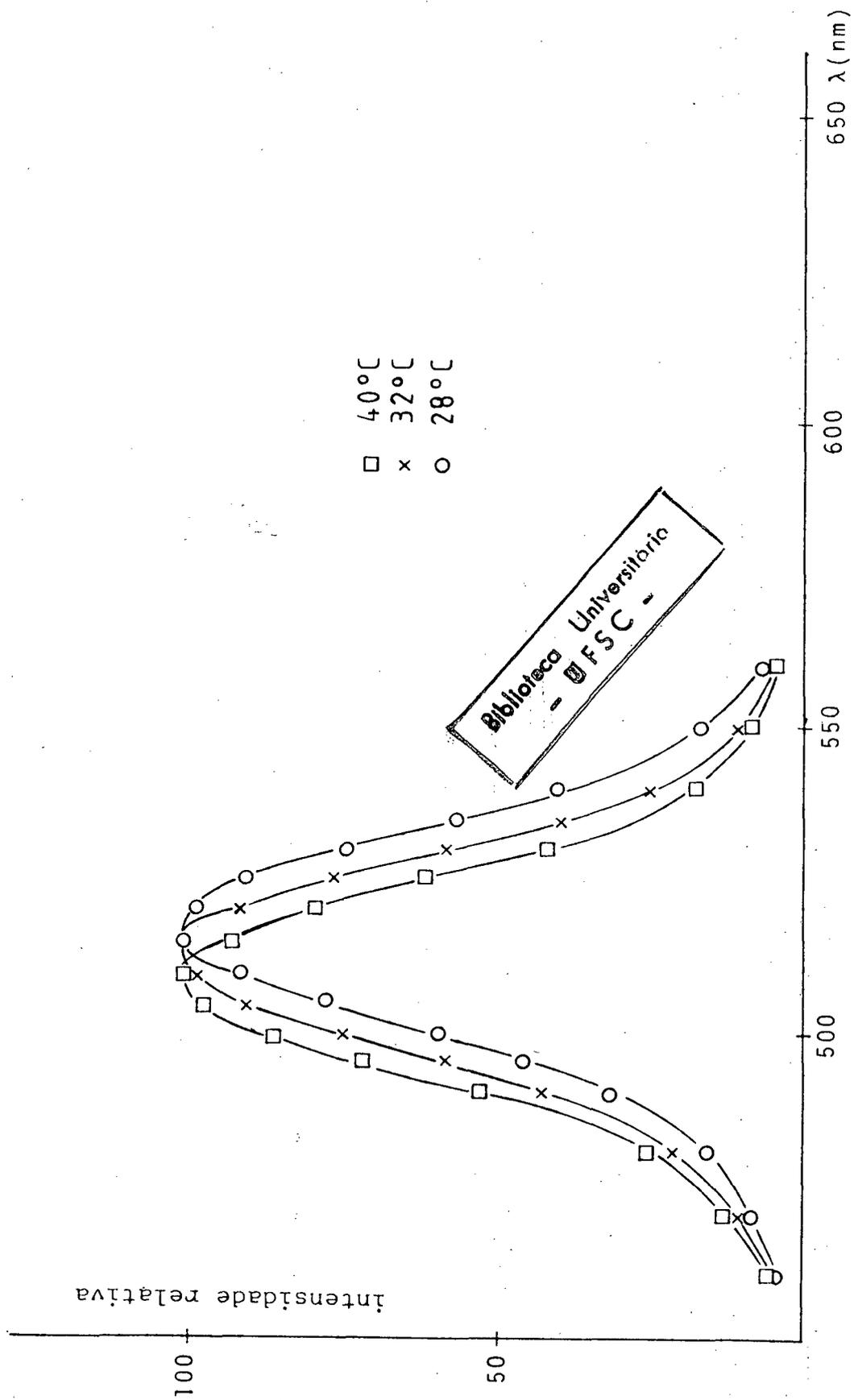


FIG. 4.17 Intensidade Relativa da luz transmitida em função do comprimento de onda da luz incidente, para uma mistura de 18% CC e 82% CN, em massa.

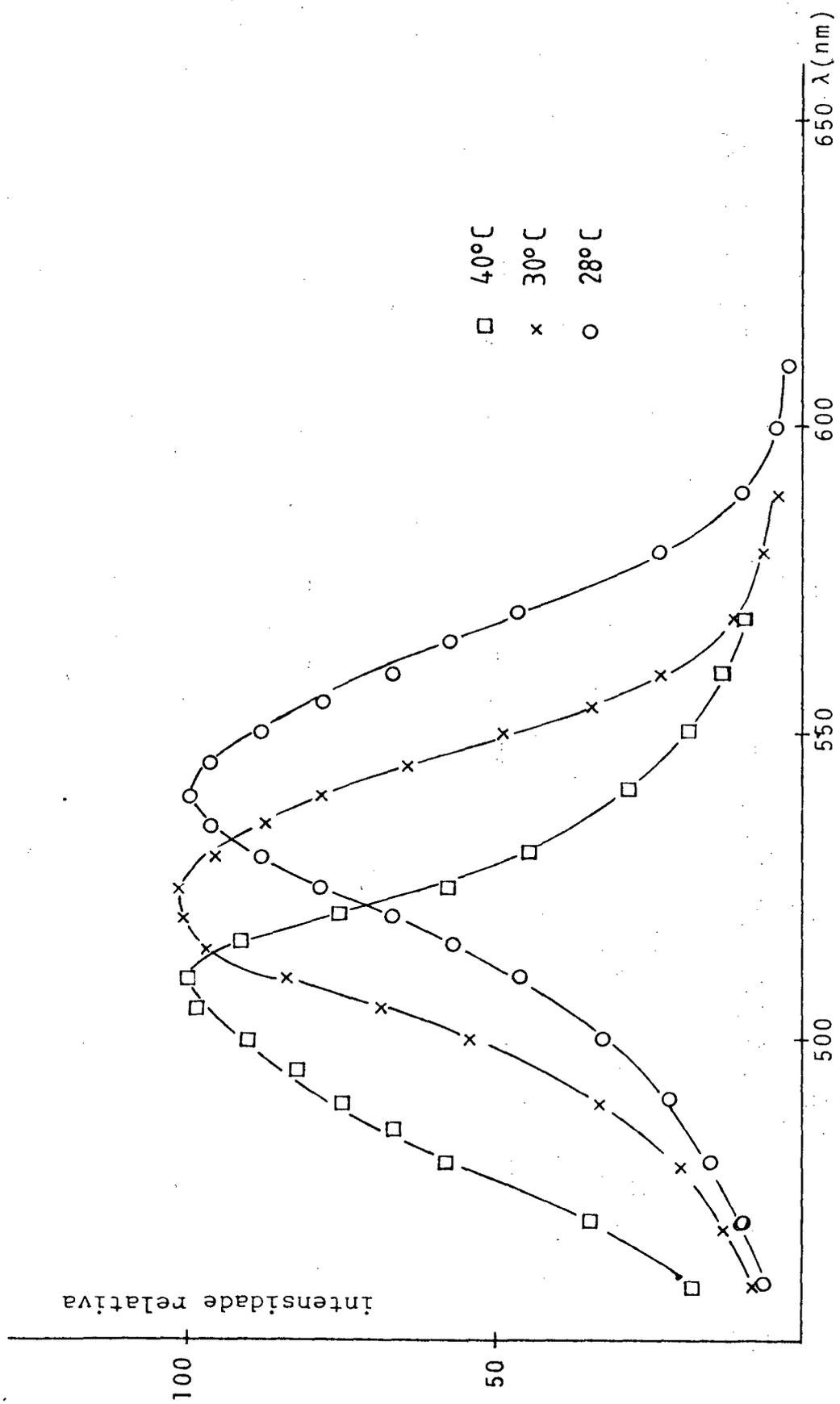


FIG. 4.18 Intensidade Relativa da luz transmitida em função do comprimento de onda da luz incidente, para misturas com diversas concentrações de CC sob temperatura de 40 °C.

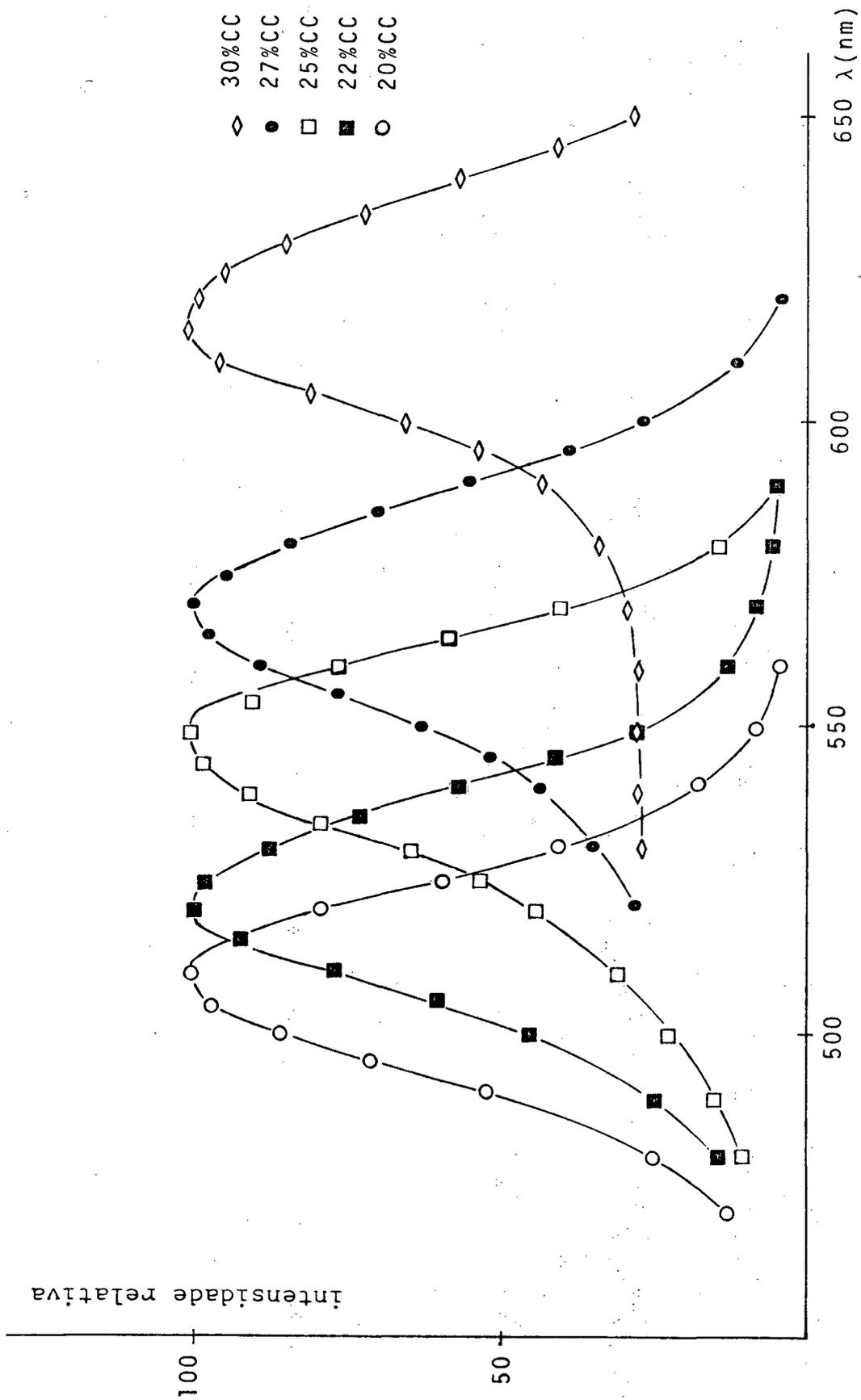
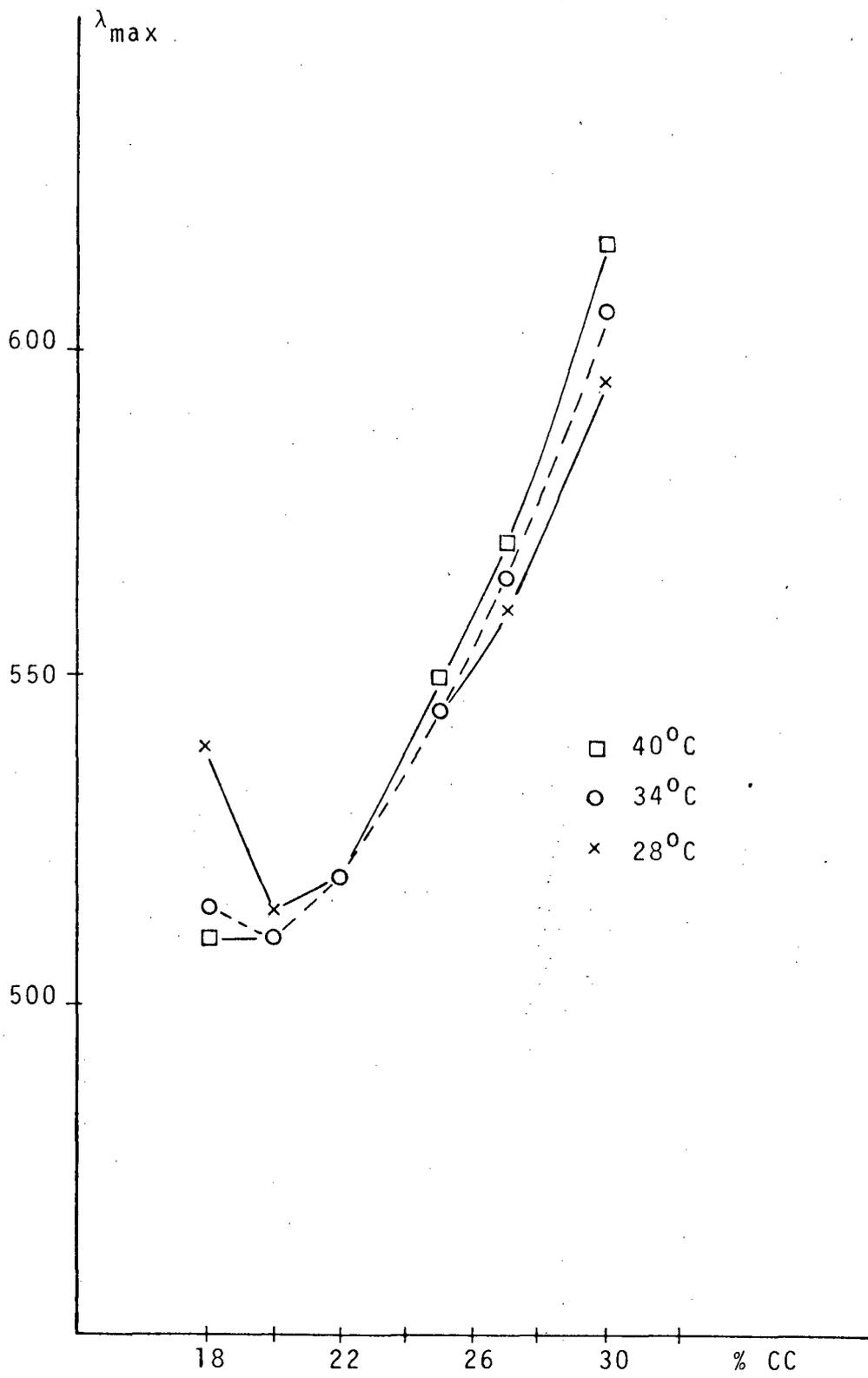


FIG. 4.19  $\lambda_{\text{m\acute{a}x.}}$  (nm) em função da concentração de CC,  
em diversas temperaturas.



A FIG. 4.19 apresenta o  $\lambda_{\text{máx.}}$  da banda de filtragem em função da concentração de CC na mistura binária que utilizamos.

#### 4.2 Discussão dos resultados:

Uma observação das figuras de 4.1 a 4.12, nos informa que ocorreu a transmissão de uma banda de comprimento de onda, da luz incidente na amostra, devido ao dicroísmo circular reflexivo.

De acordo com o que vimos em 2.2 e 2.3, a película colestérica converte a banda de comprimentos de onda em torno de  $\lambda_0 = \bar{n} \cdot p$  da luz incidente linearmente polarizada em luz circularmente polarizada com duas componentes de sentidos opostos, de tal forma que a componente que tenha o mesmo sentido da hélice do colestérico seja refletida em sua quase totalidade enquanto que a componente de sentido oposto ao da hélice do colestérico é transmitida com pequena atenuação (FIG.2.2). E por isso mesmo temos um pico máximo  $\lambda_{\text{máx.}}$  de luz transmitida, dentro da banda de filtragem  $\Delta\lambda$ , para um determinado comprimento de onda,  $\lambda_0$ , da luz incidente.

As larguras das bandas transmitidas, a 50 % da intensidade relativa máxima, para cada amostra utilizada nas diversas temperaturas de investigação adotadas, estão indicadas na tabela 4.7 com valores que oscilam de 37 nm a 55 nm. Estes valores a nosso ver são bastante aceitáveis, visto que Kahn<sup>15</sup> o calculou teoricamente como sendo de 37 nm. Em nosso trabalho constatamos que os menores valores de  $\Delta\lambda$  são fornecidos pelas misturas de 20% CC e 22% CC. Partindo de 20% CC um acréscimo em sua percentagem faz aumentar o  $\Delta\lambda$  e da mesma forma um de

crêscimo da percentagem de CC faz aumentar o  $\Delta\lambda$ .

O acentuado alargamento das bandas de filtragem para valores inferiores a 50% da intensidade relativa máxima transmitida deve-se a forte atividade ótica manifestada pela película colestérica fora da banda de reflexão, que é centrada em  $\lambda_0 = \bar{n} \cdot p$ , o que é demonstrado pela equação 2.9.

Note-se que os menores valores do  $\lambda_{\text{máx.}}$  transmitido pertencem à mistura com 20% CC, crescendo para concentrações maiores e menores desta percentagem.

Na FIG. 4.13 podemos observar que a banda de filtragem  $\Delta\lambda$ , é deslocada dentro do espectro visível para regiões de menores comprimentos de onda ao diminuirmos a temperatura da amostra. E assim constatamos a mesma coisa nas FIG. 4.14 e 4.15. Mas nas FIG. 4.16 e 4.17 constata-se agora que a banda  $\Delta\lambda$  é deslocada para regiões de maiores comprimentos de onda com a diminuição da temperatura. Isto, está relacionado com a inversão do passo que a mistura CC e CN sofrem em torno de 20% CC.

Na FIG. 4.18 mostramos que é possível deslocarmos a banda de filtragem  $\Delta\lambda$  da mistura de CC e CN dentro do espectro visível, sob temperatura constante, ao variarmos a concentração de CC. Fica bem evidente que diminuindo a percentagem de CC a banda de filtragem é deslocada para regiões de menores comprimentos de onda.

As curvas da FIG. 4.19 mostram que a variação do  $\lambda_{\text{máx.}}$  da banda de filtragem em função da concentração de CC, não é linear, nas temperaturas investigadas.

Nos gráficos das figuras numeradas de 4.1 a 4.12, o ramo esquerdo decresce mais lentamente que o ramo direito, porque fora da banda de reflexão ( $\Delta\lambda$ ) a atividade ótica manifestada pela mistura colestérica provoca a rotação do plano de pola

rização da luz incidente, que é plano polarizada. O que podemos explicar através da equação 2.9:

$$\frac{d\psi}{dz} = - \frac{2\pi}{p} \cdot \frac{\alpha^2}{8(\lambda')^2 [1 - (\lambda')^2]}$$

e da equação 2.5:

$$\lambda' = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_0} \cdot p}$$

Então, vejamos:

1 - Quando  $\lambda' \gg p$  : Pela equação 2.5 podemos perceber que  $\lambda' > 1$ . Levando esta informação à equação 2.9 podemos demonstrar que a rotação do plano de polarização da luz é proporcional a  $p^3/\lambda^4$ , o que descreve a situação do ramo direito dos gráficos. Assim:

$$\frac{d\psi}{dz} \approx \left(\frac{p}{\lambda}\right)^3 \frac{1}{\lambda} \quad (4.1)$$

Esta relação (4.1) é que nos indica que a rotação da luz por atividade ótica tende acentuadamente a zero.

2 - Quando  $\lambda \ll p$  : Novamente, pela equação 2.5 sabemos que  $\lambda' < 1$ . Esta é a situação do ramo esquerdo dos gráficos, onde a rotação do plano de polarização é proporcional a  $p/\lambda^2$ . Ou então

$$\frac{d\psi}{dz} \approx \left(\frac{p}{\lambda}\right) \frac{1}{\lambda} \quad (4.2)$$

E através desta relação (4.2) podemos concluir que a rotação da luz por atividade ótica neste ramo esquerdo tende mais lentamente a zero.

## C A P I T U L O V

CONCLUSÃO

Os resultados apresentados no capítulo IV nos levam a afirmar que é possível utilizarmos misturas binárias de CC e CN para produzirmos filtros óticos de banda, de largura  $\Delta\lambda$ , em torno de  $\lambda'$ , no seguinte intervalo:

$$(1 - \alpha)^{1/2} < \lambda' < (1 + \alpha)^{1/2}$$

onde, de acordo com a equação 2.8, a largura da banda pode ser determinada assim:

$$\Delta\lambda = \frac{\Delta n}{\bar{n}} \lambda$$

Esta equação pode ser utilizada para determinar a birrefringência ( $\Delta n$ ) dos cristais líquidos colestéricos, uma vez que  $\lambda$  e  $\Delta\lambda$  podem ser determinados com o uso de um espectrofotômetro e  $\bar{n}$  pode ser obtido sem grandes dificuldades em experimentos óticos bastante comuns em nossos laboratórios.

Os valores medidos neste trabalho, demonstram que a operação de filtragem da mistura binária que utilizamos pode ser perfeitamente aplicada a regiões bem específicas do espectro visível; bastando para tanto que ou a concentração dos componentes da mistura ou a temperatura sejam adequadamente controladas.

Não apresentamos dados em temperaturas inferiores a 28 °C porque encontramos dificuldades para estabilizar a

temperatura da câmara de aquecimento, embora julgássemos de interesse que medidas fossem feitas em temperaturas próximas à temperatura ambiente. Superadas as dificuldades, outros trabalhos poderão ser feitos em temperaturas inferiores a 28 °C, o que tecnicamente seria excelente porque poderia viabilizar alguma aplicação prática imediata, como por exemplo em Comunicações Óticas, ou em Instrumentação Ótica.

Poderia ser investigada também a construção de filtros óticos de bandas múltiplas, pela justaposição de películas colestéricas de diferentes passos entre dois polarizadores cruzados.

A adição de Carbonato de Oleil Colesterila (COC) pode ser mais uma tentativa para ampliar a faixa colestérica da mistura de CC e CN a fim de propiciar outras misturas que manifestem propriedades de filtros óticos de banda.

A não linearidade do deslocamento do  $\lambda_{\text{máx.}}$  em função da concentração de CC é um assunto que pode ser esclarecido, pois não encontramos nenhuma menção ao mesmo, na literatura. Na FIG. 4.19 também, percebemos mais um fato interessante que é a existência de um valor comum para o  $\lambda_{\text{máx.}}$  a 22% CC para as temperaturas em que se realizou este trabalho, isto não está ainda muito bem elucidado.

BIBLIOGRAFIA

- 01 - FERGASON, J.L. Líquid Crystals, Scientific American. 211: 77 (1964).
- 02 - FERGASON, J.L.; GOLDBERG, N.N and NADALIN, R.J. Cholesteric Structure - II Chemical Significance. Molecular Crystals. 1: 309-323, 1966.
- 03 - BROWN, Glenn H, Structure properties, and some applications of liquid crystals, Journal of the Optical Society of America. 63: 1505, December 1973.
- 04 - REINITZER, F. Ann Physik. 27: 213, 1908.
- 05 - LEHMANN, O. Ber. 41: 3774 (1908).
- 06 - FRIEDEL, G, Ann.Phys. 18: 273, (1922).
- 07 - STEINSTRASSER, R. POHL, L. Chemistry and Applications of Liquid Crystals, Angewandte Chemie. 8: 617, 1973.
- 08 - DE GENNES, P. The Physics of Liquid Crystals. Oxford Clarendon Press , (1974).
- 09 - GURTNER, R.W. MATE,C. Liquid crystal displays, IEEE spectrum. 5 , Nov (1972).
- 10 - ADAMS, J.E. and HASS, W.E.L. Characterization of Molecular Role in Pitch Determination in Liquid Crystal Mixtures. Molecular Crystals and Liquid Crystals. 15, 27-35 (1971).
- 11 - DENICOLÓ, Ireno. Poder de Torção Helicoidal das Misturas Binárias de Colestérico e Nemático-Colestérico. Florianópolis,UFSC, dissertação de mestrado em Físico-Química, (1978) 72 p., p. 24-29.
- 12 - ADAMS, J, HAAS, W. and DAILEY, J. Cholesteric Films as Optical Filters. Journal of Applied Physics, 42: 4096, September 1971.
- 13 - ADAMS, J.E., HAAS, W. and WYSOCKI. Optical Properties of Certain Cholesteric Liquid-Crystal Films. Journal of Chemical-Physics, 50: 2458 , March (1969).
- 14 - ADAMS, J. and LEDER, L. The Effective Rotary Power of Cholesterol. Chemical Physics Letters, 6: 90-92 (1970).
- 15 - KAHN, F.J. Cholesteric Liquid Crystals for Optical Applications. Applied Physics Letters, 18: 231-233, 1970.

- 16 - VRIES, H. Rotatory Power and Other Optical Properties of Certain Liquid Crystals. Acta Cryst. 4: 219 (1951).
- 17 - FERGASON, J.L. Cholesteric Structure - I Optical Properties Molecular Crystals. 1: 293-307 (1966).
- 18 - PRIETSLEY, E.B. RCA - Review. 35: 584-599 (1974).
- 19 - ZWETKOV, V. Acta Physicochim (USSR) 16: 132 (1942).