



**UNIVERSIDADE FEDERAL**

**DA PARAÍBA**

CAMPUS II – CAMPINA GRANDE – PB

Relatório

de

Estágio Supervisionado

"Influência da viscosidade nas propriedades mecânicas do P.V.C."

Autor: Romulo Feitosa Navarro  
Supervisora: Sandra M. Sampaio  
Curso: Engenharia de Materiais

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
AVENIDA APRÍGIO VELOSO, 862 - Cx. Postal 518  
TELEX: 0832211 - FONE: (083) 321.7222  
58.100 - CAMPINA GRANDE – PB

BRASIL



Biblioteca Setorial do CDSA. Abril de 2021.

Sumé - PB

## APRESENTAÇÃO

Este trabalho de estágio foi realizado por RÔMULO FEITOSA NAVARRO sob a orientação de SANDRA MARIA SARMENTO professora de REOLOGIA.

Os testes foram realizados nos seguintes lugares:

- \* Laboratório da CANDE - Testes viscosimétricos  
Ensaio de tração e impacto
- \* Laboratório de metalografia do CCT/CAMPUS II - Ensaio de dureza
- \* Laboratório de Química orgânica do CCT/CAMPUS II - Preparação de soluções

O presente trabalho em sua realização teve a valiosa colaboração dos professores: Fernando Campos e M<sup>te</sup> do Socorro Lacerda.

02/03/85  
02/06/85

## OBJETIVO

O objetivo deste estágio é mostrar como variam as propriedades físico-mecânicas do PVC com a sua viscosidade intrínseca, a fim de facilitar a previsão de como se comportaria este material, se porventura lhe fosse feita alguma modificação que influísse na sua viscosidade intrínseca, quando usado sob tração e sujeito à choques e riscamento ou penetração.

## SUMÁRIO

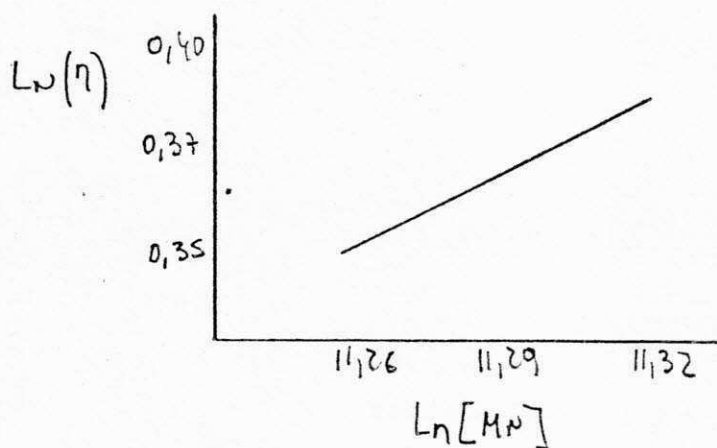
	pag
APRESENTAÇÃO	A
OBJETIVO	B
CORRELAÇÃO EMPÍRICA ENTRE A VISCOSIDADE E O PESO MOLECULAR	I
MÉTODO EXPERIMENTAL DE DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE	II
TRATAMENTO DE DADOS	III
DIAGRAMAS DE $ \eta $ EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO	IV
RELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E A VISCOSIDADE	V
MÉTODO EXPERIMENTAL DE DETERMINAÇÃO DA RES. À TRAÇÃO	VI
CONCLUSÃO I	VII
RELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA AO IMPACTO E A VISCOSIDADE	VIII
DIAGRAMA DE RI EM FUNÇÃO DE $\ln \eta $	IX
CONCLUSÃO II	X
RELAÇÃO ENTRE A DUREZA E A VISCOSIDADE	XI
MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DA DUREZA	XI
CONCLUSÃO III	XII
BIBLIOGRAFIA	XIII
DADOS E ESPECIFICAÇÕES	XIV

CORRELAÇÃO EMPÍRICA ENTRE A VISCOSIDADE INTRÍNSECA  
E O PESO MOLECULAR MÉDIO PARA POLÍMEROS LINEARES

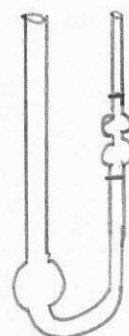
Inicialmente pensou-se que a viscosidade reduzida fosse proporcional ao peso molecular em termo de polímeros. Mais tarde, porém, a viscosidade reduzida foi substituída pela viscosidade intrínseca sendo encontrado que esta proporcionalidade é uma potencia menor do que a unidade. Esta relação pode ser então expressa da seguinte forma:

$$|\eta| = K \bar{M}_n^a$$

onde K e a são constantes determinadas a partir de um gráfico de log pelo  $\log \bar{M}_n$ , onde K é a inclinação.



$\ln|\eta|$  em função do  $\ln M_n$



Viscosímetro de OSTWALD

MÉTODO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAÇÃO  
DA VISCOSIDADE EM SOLUÇÃO DOS POLÍMEROS

A determinação da viscosidade em solução de um polímero é geralmente feita pela comparação do tempo de efluxo de uma solução polimérica de concentração conhecida, para fluir através de um tubo capilar com o tempo de efluxo correspondente para o solvente. O tempo de efluxo da solução é denominado  $t$  e o do solvente  $t_0$ . A partir de  $t$ ,  $t_0$  e da concentração da solução são derivadas várias viscosidades quais sejam: viscosidade relativa, específica, reduzida, inerente e intrínseca, cujas fórmulas serão mostradas abaixo.

VISCOSIDADE RELATIVA  $\eta_r = t/t_0$

VISCOSIDADE ESPECÍFICA  $\eta_{sp} = \eta_r - 1$  ou  $(t-t_0)/t_0$

VISCOSIDADE REDUZIDA  $\eta_{red} = sp/c$

VISCOSIDADE INERENTE

OU NÚMERO LOGARÍTMICO DE VISCOSIDADE  $\eta_{inh} = (\ln \eta_r)/c$

VISCOSIDADE INTRÍNSECA

OU NÚMERO LIMITE DE VISCOSIDADE  $[\eta] = ((\ln \eta_r)/c)_{c=0}$

No nosso experimento a concentração é tomada em gramas por 1 dl ou mesmo g/100ml.

A viscosidade intrínseca  $[\eta]$  é independente da concentração em virtude da extrapolação para  $c=0$ , mas é função do solvente usado, para tanto, afirmamos que os dados que aqui serão apresentados referem-se, ao PVC em solução com a ciclohexanona (0,1/50ml ou 0,2g/dl). A viscosidade inerente em uma concentração específica, usualmente 0,5 g por decilítros, é as vezes usada como uma aproximação para  $[\eta]$ .

A viscosidade de soluções diluídas são geralmente determinadas em viscosímetros capilares de Ostwald-Frenske ou de Ubbelohde. Nestes testes utilizamos o viscosímetro de Ostwald-Frenske.

Para uma precisão maior dos dados deve-se tomar algumas precauções. A determinação deve ser feita a temperatura constante em um banho regulado para variar no máximo em  $\pm 0,02$  °C. O tempo de efluxo deve ser no mínimo de 100s, para minimizar a necessidade de aplicar correções aos dados observados. Em decorrência da necessidade de extrapolar a concentração a zero, a concentração da solução deve ser tal que proporcione valores para a viscosidade relativa entre 1,1 e 1,5.

#### TRATAMENTO DE DADOS

Os dados da viscosidade em função da concentração são extrapolados a uma diluição infinita de acordo com a equação de Huggins:

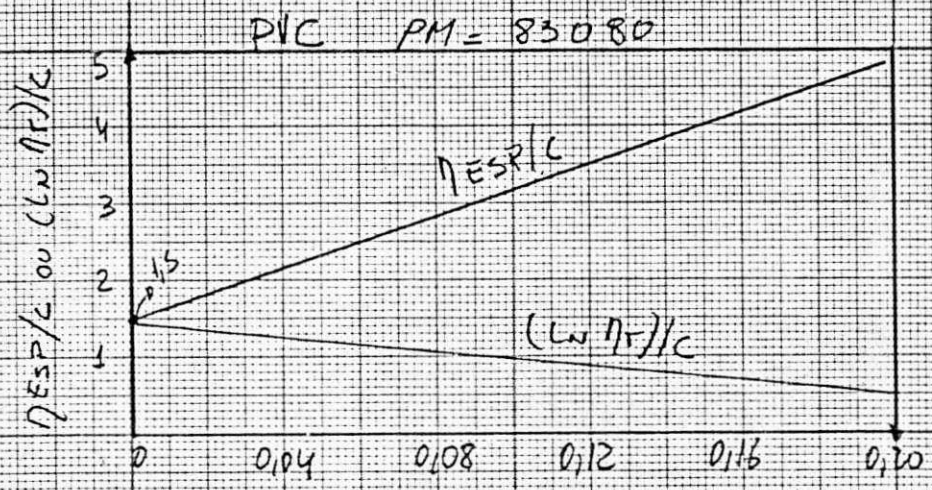
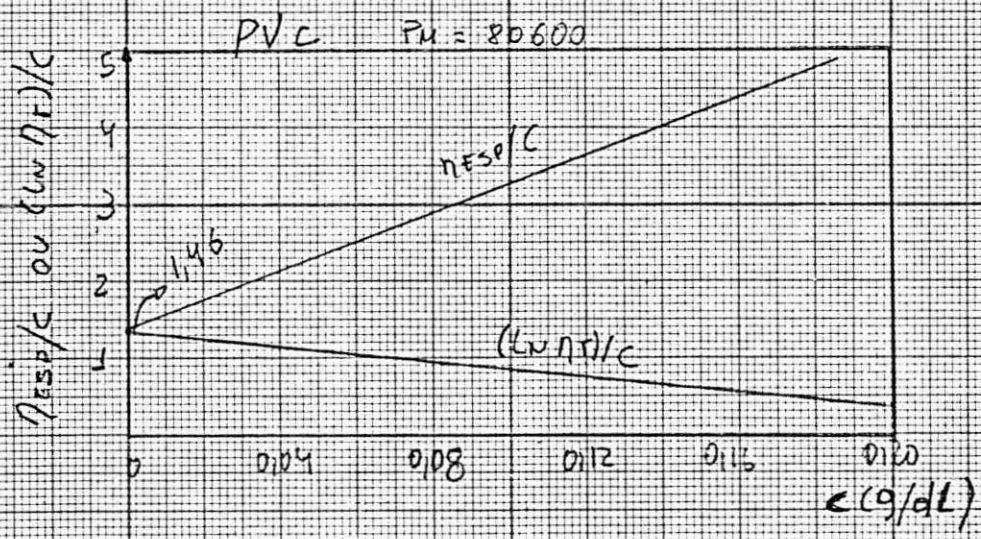
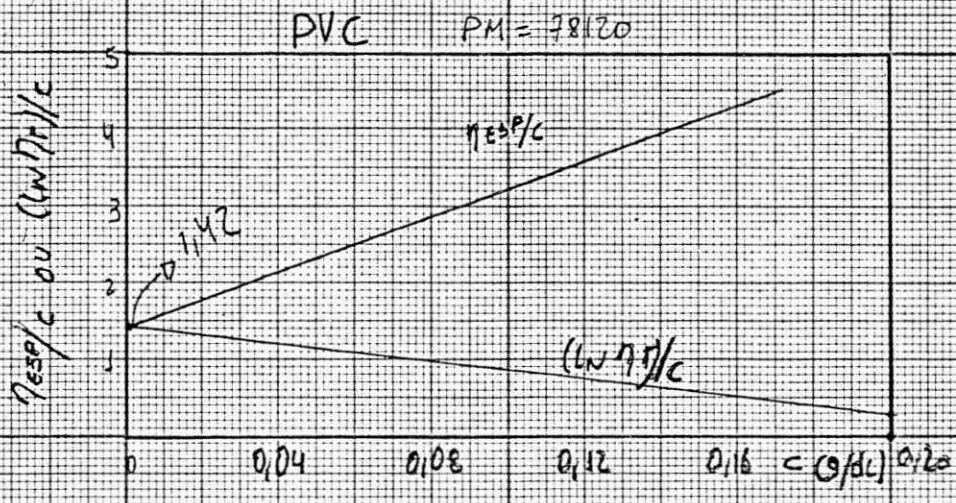
$$\frac{\eta_{sp}}{c} = [\eta] + k'[\eta]^2 c$$

onde  $k'$  é uma constante relativa ao polímero e ao solvente aplicados. Um valor alternativo para a viscosidade intrínseca pode ser dado pela seguinte equação:

$$\frac{\ln \eta_r}{c} = [\eta] + k''[\eta]^2 c$$

onde  $k' - k'' \approx 1/2$ . Os dados em gráficos serão mostrados em um anexo a este relatório.





IV

RELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO  
E O PESO MOLECULAR / VISCOSIDADE

Para muitos polímeros as propriedades físicas, incluindo a resistência à tração, podem ser descritas por uma equação do tipo:

$$\text{Propriedade} = a - b/M_n$$

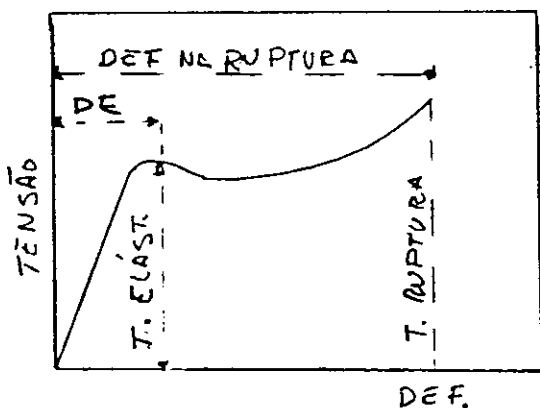
A resistência à tração varia significativamente com o peso molecular dos polímeros, muito embora esta variação seja de fato com a média entre o peso molecular numérico médio ( $M_n$ ) e o peso molecular médio em peso ( $M_w$ ).

Flory mostrou que a dependência com  $M_n$  implica que a Resistência à tração  $RS$  de uma mistura de componentes com resistência à tração  $RS_i$  é uma média em peso :

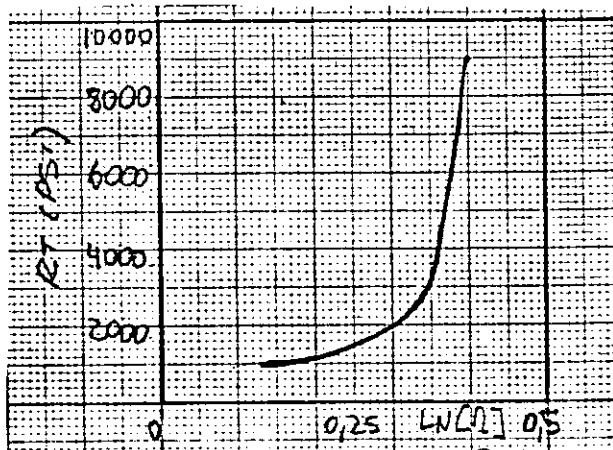
$$\overline{RS} = \sum w_i (RS)_i$$

onde  $\sum$  significa somatório de  $i$  a  $n$ ; e  $w_i$  a fração em peso dos componentes da mistura.

Se o polímero exibe um ponto de tensão residual e permite elongações excessivas antes de se romper, sua resistência à tração antes da fratura irá aumentar com o peso molecular.



curva de tensão  
deformação (PVC)

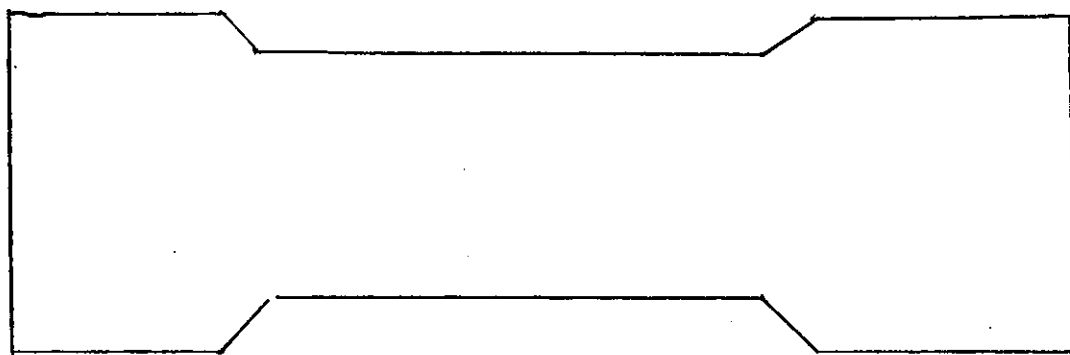


curva de resistencia a tração  
versus  $\log \frac{\eta}{e}$  para o PVC

## MÉTODO EXPERIMENTAL DE DETERMINAÇÃO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Um dos mais importantes e informativos testes mecânicos para qualquer material é a determinação de sua curva de tensão X deformação. A curva para o PVC foi mostrada na página anterior. Isto é feito de uma maneira geral, pela determinação a cada ponto do esforço de tração desenvolvido e a correspondente deformação, a uma taxa de deformação constante.

A curva mostrada anteriormente nos mostra o módulo de elasticidade (a inclinação da reta de deformação elástica) a tensão elástica máxima e a sua resistência e deformação na ruptura. A velocidade ou taxa de deformação é geralmente usada em torno de 1-1000%/min. Os corpos de prova, de acordo com a ASTM têm a seguinte forma:



CONCLUSÃO DA RELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO  
E A VISCOSIDADE INTRÍNSECA PARA O PVC

A resistência à tração assim como a viscosidade para um material é a sua resistência ao escoamento de suas camadas umas sobre as outras. No caso da RT este escoamento é provocado por uma força axial de tração.

O PVC de  $MN= 78120$  apresentou uma resistência à tração de 3000 psi. O de  $Mn= 80600$  teve uma RT = 5000psi e o de  $Mn=83080$  uma RT de 9000psi. Podemos ver, então, que a RT do PVC cresce com o aumento de sua massa molecular média, da mesma forma que a sua viscosidade, portanto, a resistência à tração do PVC é diretamente proporcional à sua viscosidade.

## RELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA AO IMPACTO E A VISCOSIDADE

Se for aplicada uma energia mais do que necessária para romper um material, nós podemos diretamente medir a energia necessária para se romper o material ou seja sua tenacidade ou resistência ao impacto. A energia para causar a ruptura é determinada pela área abaixo da curva : tensão X deformação do material sobre tração. Uma outra maneira de se calcular é através de ensaios de impacto, onde um martelo tem uma energia potencial antes e depois de romper o material por fratura. A energia usada é proporcional à diferença de altura antes e depois.

Voltando à primeira forma de medir a tenacidade de um material podemos notar que quanto maior a curva, ou seja sua área, maior a resistência ao impacto e menor a resistência à tração.

Como foi visto anteriormente quando da relação entre a resistência à tração e a viscosidade, vimos que elas são diretamente proporcionais. Como a resistência ao impacto é inversamente proporcional à resistência à tração podemos relacionar : a resistência ao impacto (RI) com o peso molecular e por conseguinte com a viscosidade por esta relação ::

$$RI = a' + b/Mn$$

onde  $Mn = (1/\eta)^{1/a}$  com a sendo diferente de a'.

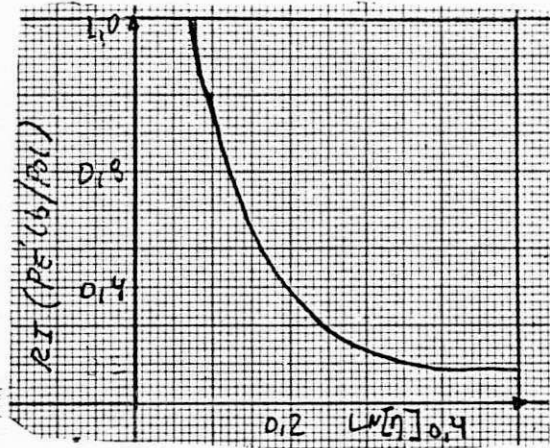
### MÉTODO IZOD PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO IMPACTO ATRAVÉS DA DIFERENÇA DE ALTURAS

O teste Izod usa trave em balanço (martelo) como mostrado na figura abaixo para romper uma amostra que contém um entalhe ao centro. Uma vez especificados o entalhe e a espessura da amostra, a energia é usualmente dada por polegadas de espessura entalhada. A relação é a seguinte:

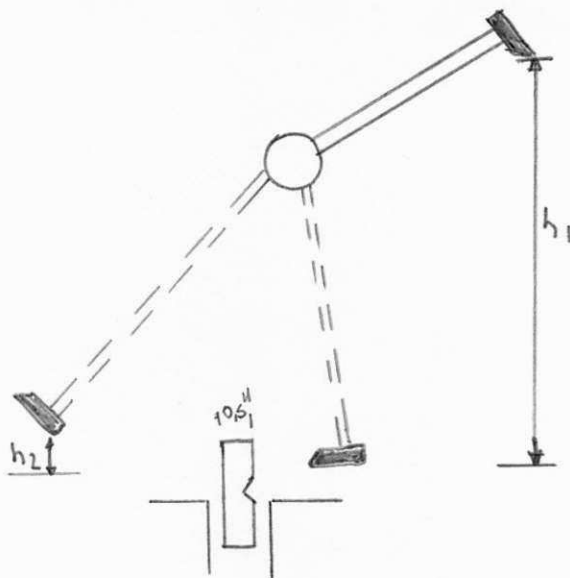
RI = energia para romper por fratura o material por unidade de espessura

ou seja,  $RI = (h_1 - h_2) W/d$  pélb/pol onde W é o peso do martelo.

Uma vez que a maioria dos materiais flexíveis não irão se romper neste teste à temperatura ambiente, geralmente o teste é feito abaixando-se a temperatura até à temperatura de transição vítrea, onde os materiais se romperão por fratura frágil.



RI x LW/d PARA O PVC



TESTE DE IMPACTO IZOD

IX

CONCLUSÃO A RESPEITO DA REBAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA AO  
IMPACTO E A VISCOSIDADE

A resistência ao impacto de um material cristalino é inversamente proporcional à sua dureza e à sua resistência à tração. Porque quanto mais duro, mais frágil será este mesmo material.

Um material de viscosidade menor tende a se deformar mais facilmente, absorvendo assim, com mais intensidade, os impactos que são submetidos. Desta forma, evitam o rompimento por fratura frágil por impacto.

Como conclusão, podemos afirmar que a resistência ao impacto do PVC é inversamente proporcional à sua viscosidade.

## RELAÇÃO ENTRE A DUREZA E A VISCOSIDADE

A dureza de um polímero está diretamente ligada à sua rigidez. Quanto mais rígido for o polímero mais dura ele será.

Polímeros rígidos oferecem grande resistência ao escoamento notadamente, pela alta força de ligação entre as moléculas sendo, portanto, um polímero de alta viscosidade. À medida que ele vai se tornando menos rígido ele não apresentará uma resistência ao escoamento tão alta como antes.

Pelo visto acima podemos correlacionar a dureza com a viscosidade ou com a massa molecular de um polímero na forma desta equação:

$$\text{Dureza} = a - b/Mn$$

ou seja, quanto maior o peso molecular médio maior a dureza e a viscosidade.

## MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DA DUREZA

A dureza é geralmente tomada como uma mistura das resistências à penetração e ao riscamento, entretanto, na maioria das vezes, em | se tratando de polímeros, ela é apenas relacionada com a resistência à penetração de um objeto pontiagudo sob carga constante.

Existem vários métodos de determinação de dureza tais como: Rockwel, Shore e vicker.

Para polímeros rígidos se usa o método de Rockwel em sua escala D, que mede a resistência que um polímero oferece à penetração de uma esfera de 0,1 mm de diâmetro sob uma carga de 10 kgf.

Para polímeros menos rígidos utiliza-se o método Shore em sua escala A. onde a esfera tem 0,01 mm e a carga é de 1kgf.



CONCLUSÃO COM RELAÇÃO AO COMPORTAMENTO DA DUREZA  
COM A VARIAÇÃO NA VISCOSIDADE

Quanto mais rígido for um material, mais difícil será fazê-lo escoar. Tendo em vista, principalmente, as suas altas forças de ligação inter e intramoleculares. Estas altas forças de ligação inter e intramoleculares evitam, também, que o mesmo seja facilmente riscado, penetrado ou rasgado.

Pelo visto, podemos concluir que quanto mais duro for o PVC mais viscoso o mesmo será, tanto fundido, como em solução.

BIBLIOGRAFIA

PRINCIPLES OF POLYMER SYSTEMS - FERDINAND RODRIGUEZ

TEXTBOOK OF POLYMER SCIENCE - F. W. BILLMEYER, JR.

POLYMER CHEMISTRY - D.B.V. PARKER

ENCYCLOPAEDIA OF POLYMER SCIENCE - VOLUMES 10 e 14

## ESPECIFICAÇÕES

PVC NOVIC 1300

GP = 1300

DENSIDADE = 0,48 g/ml

RT = 8000 - 9000 psi (rígido)

1500 - 3000 psi (flexível)

RI = 0,4 - 0,2 p<sub>elb</sub>/pol (rígido)

SOLVENTE = CICLOHEXANONA

TEMPERATURA = 25°C

PRESSÃO = 760mmHg

### DADOS

$\bar{M}_n$	$ \eta $	$\ln \bar{M}_n$	$\ln  \eta $	RT(psi)	RI(p <sub>elb</sub> /pol)
78120	1,42	11,26	0,35	3000	0,4
80600	1,46	11,29	0,37	5000	0,2
83080	1,5	11,32	0,4	9000	0,1

$\bar{M}_n = 78120 \quad |\eta| = 1,42$

c	$\eta_{esp}/c$	$(\ln \eta_r)/c$
0	1,42	1,42
0,04	2,0	1,2
0,08	2,8	1,0
0,2	5,2	0,3

$\bar{M}_n = 80600 \quad |\eta| = 1,46$

c	$\eta_{esp}/c$	$(\ln \eta_r)/c$
0	1,46	1,46
0,04	2,1	1,1
0,08	2,8	0,9

$\bar{M}_n = 83080 \quad |\eta| = 1,5$

c	$\eta_{esp}/c$	$(\ln \eta_r)/c$
0	1,5	1,5
0,04	2,2	1,35
0,08	2,9	1,1