

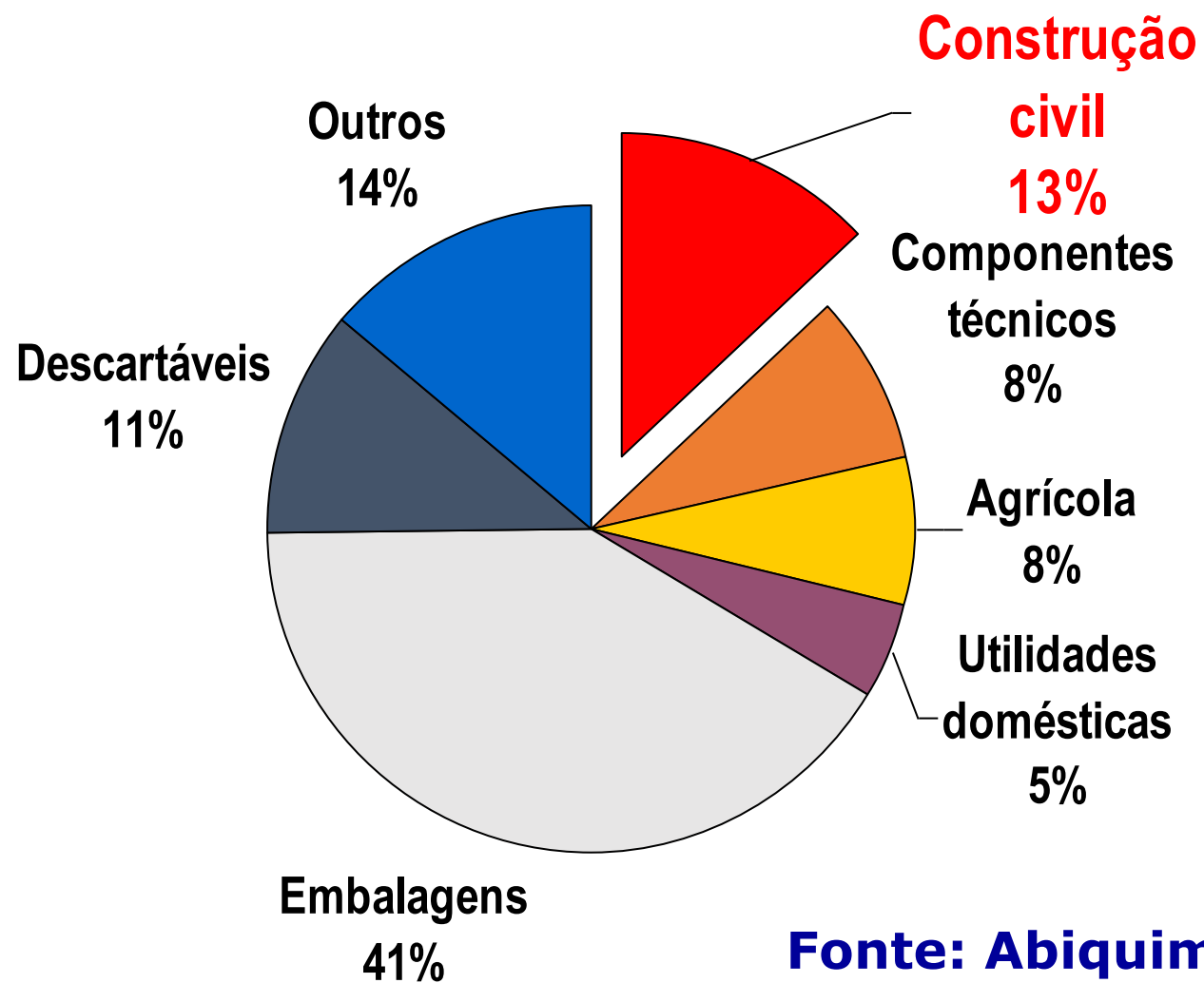
# Plásticos - PVC

Antonio Figueiredo &  
Renata Monte

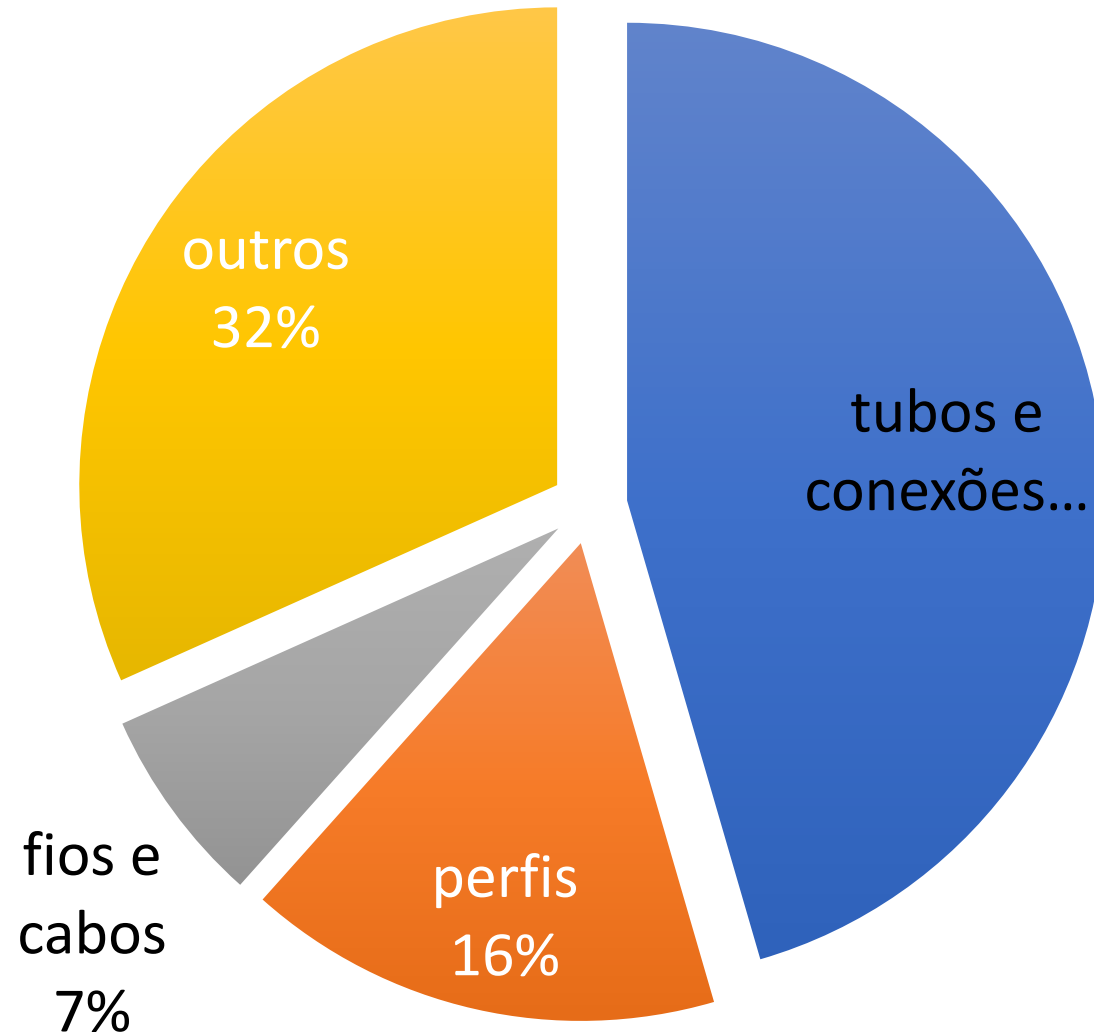
**Estrutura  
molecular  
X  
Propriedades**



# Demanda brasileira



# 70% produção do PVC é destinada para a construção



**Fonte: Instituto PVC**

# Tubos de PVC



<https://www.youtube.com/watch?v=uXzzLdfC9s4>



[http://www.kalipedia.com/tecnologia/tema/mecanizacion-plasticos.html?x=20070822klpingtcn\\_42.Kes&ap=6](http://www.kalipedia.com/tecnologia/tema/mecanizacion-plasticos.html?x=20070822klpingtcn_42.Kes&ap=6)

# Esquadrias de PVC



[www.pinterest.com](http://www.pinterest.com)

## Perfil de PVC

Vidros Simples ou Duplos

Cantos Soldados (estanqueidade)

Vedação de EPDM

Reforço interno em aço galvanizado

Câmaras de Ar internas



[www.breezespvc.com.br](http://www.breezespvc.com.br)

# Painéis de vedação em PVC



**Painéis PVC preenchidos com concreto**

<http://joinville.olx.com.br/casa-concreto-pvc-iid-125219598>

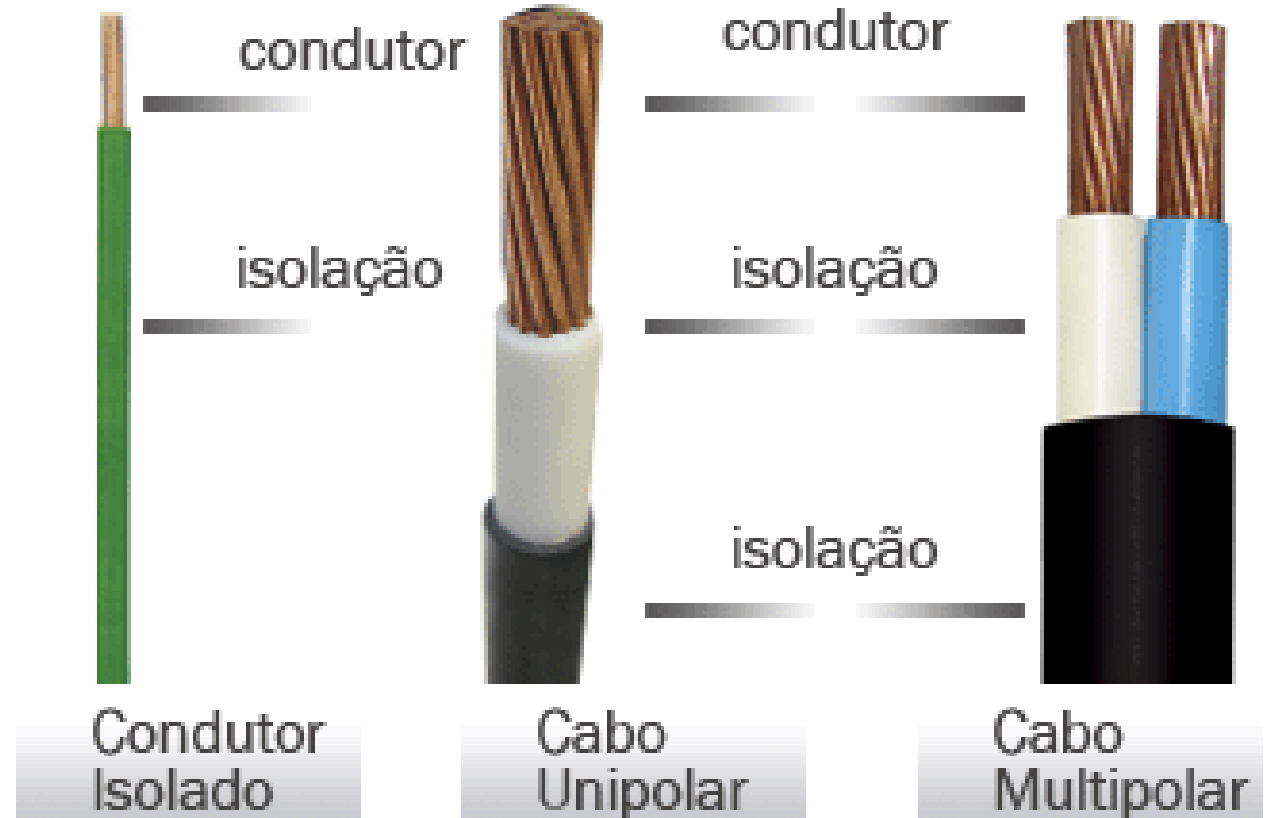
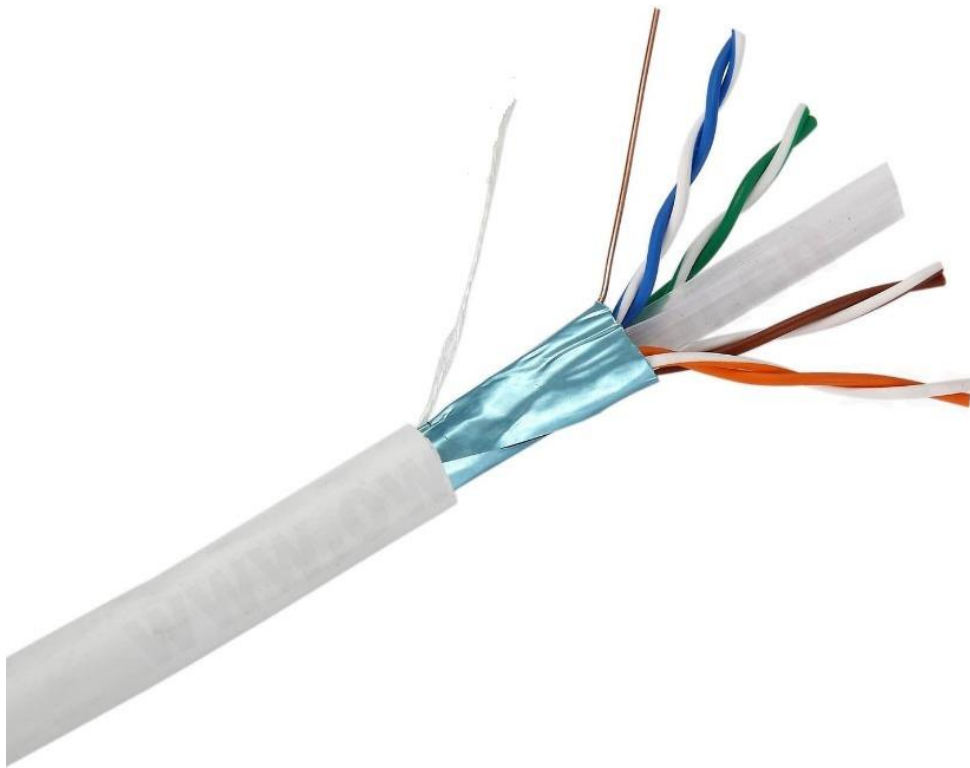
# Membranas de PVC para impermeabilização



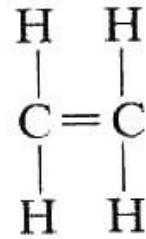
<https://selectrenovations.build/pvc-roofing-membrane-benefits/>



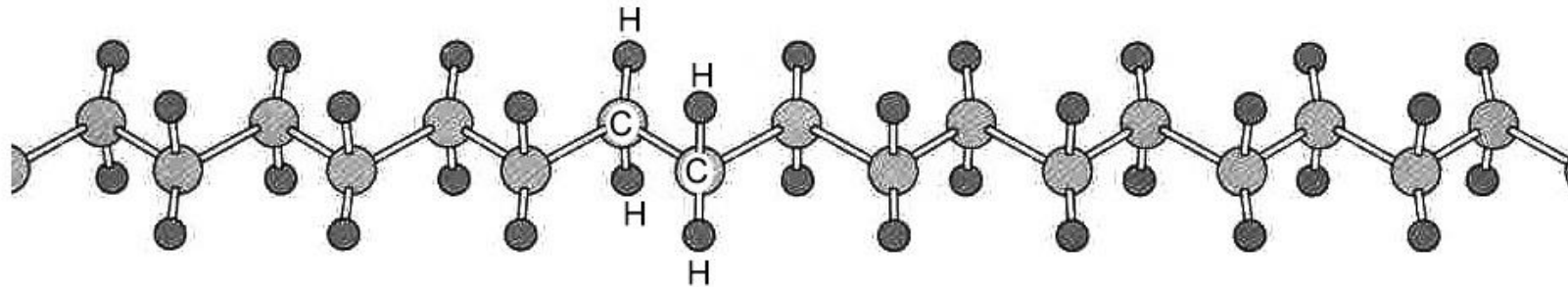
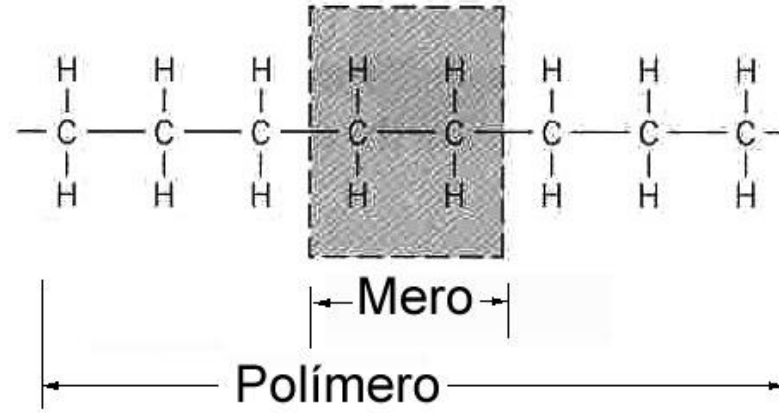
# Isolamento dos Cabos Elétricos e de Rede (PVC)



# Monômero, Mero e Polímero

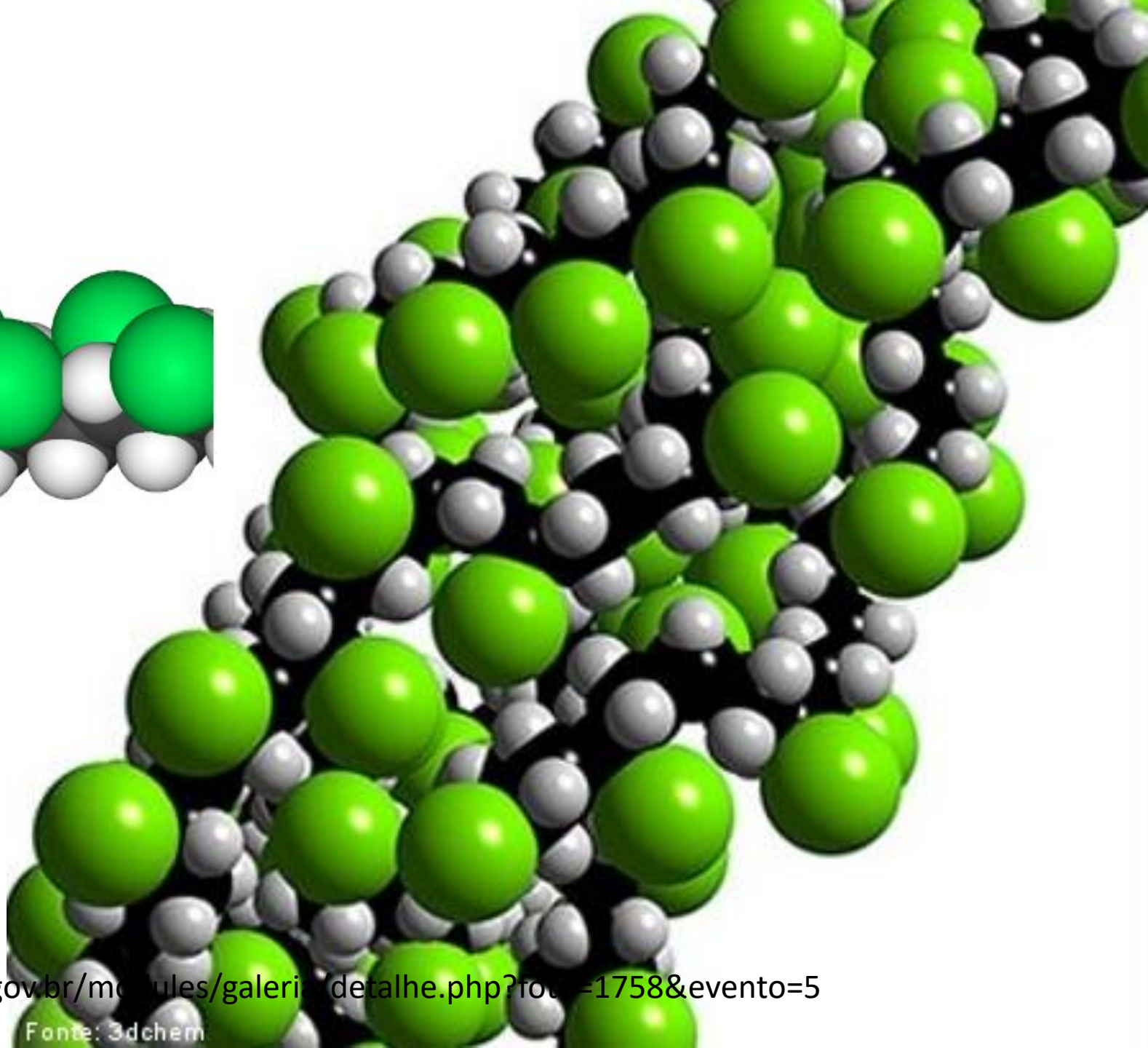
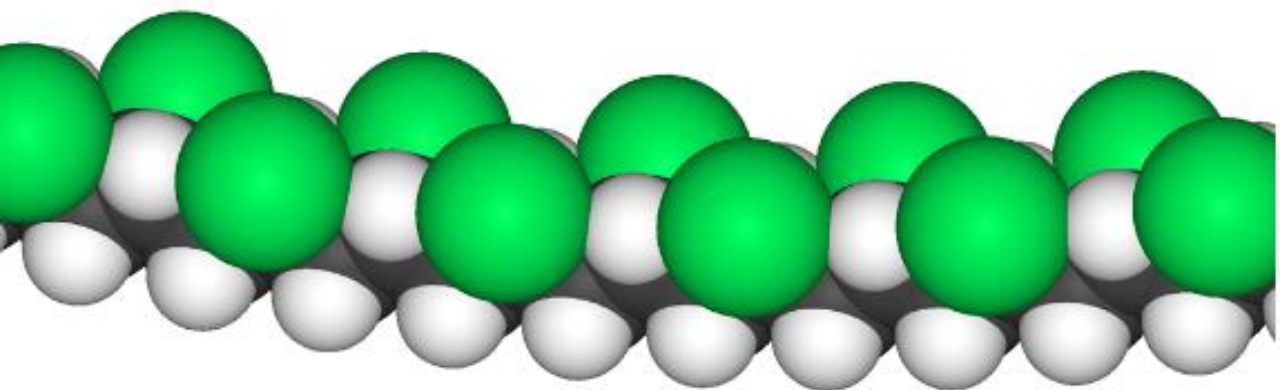


Monômero



*Molécula de polietileno*

PVC

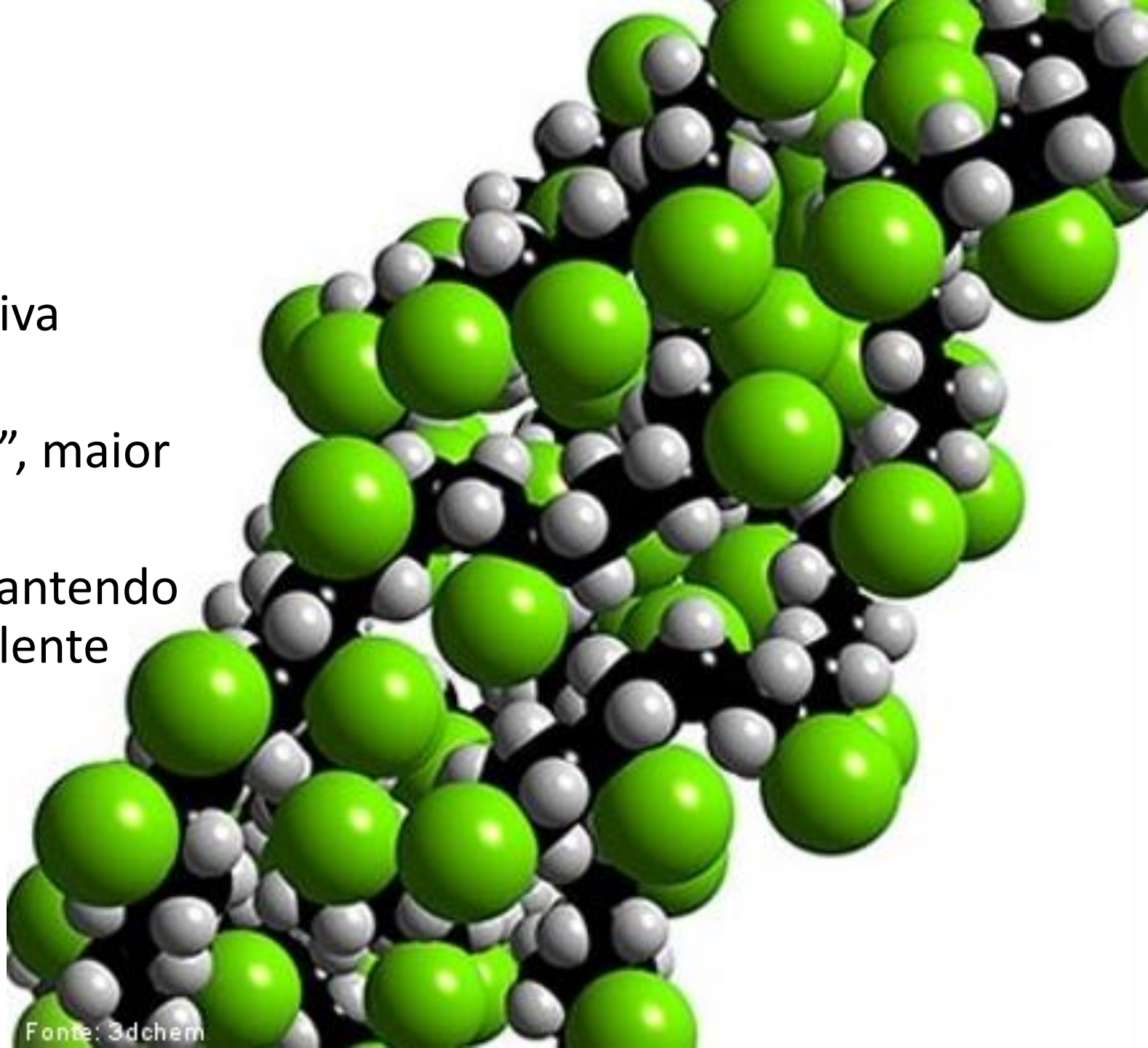


<http://www.quimica.seed.pr.gov.br/module/galeria/detalhe.php?rod=1758&evento=5>

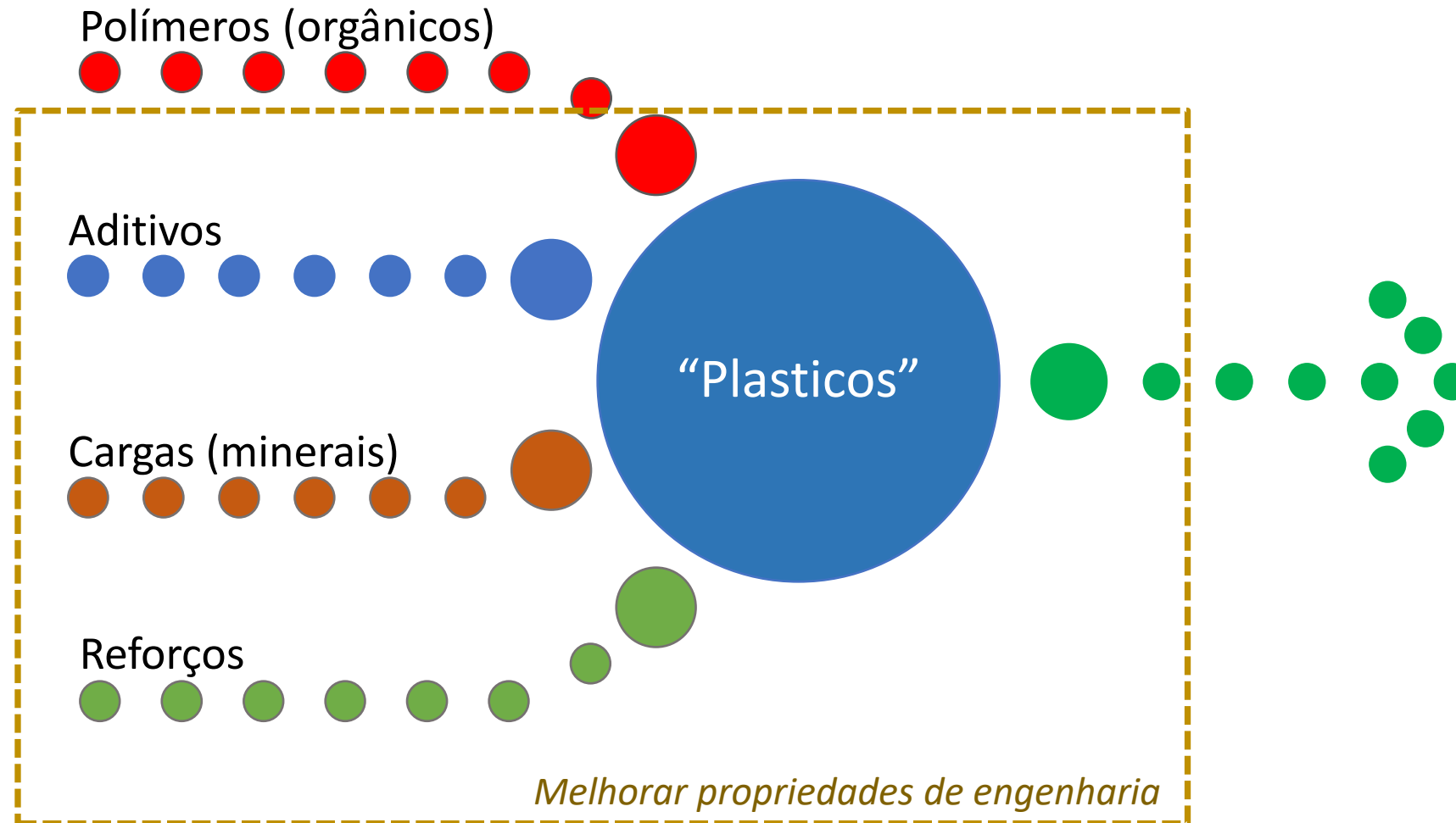
Fonte: 3dchem

# Polímeros

- Grande mobilidade relativa entre moléculas.
- Quanto maior o “espaço”, maior a mobilidade
- Capacidade de torção mantendo o ângulo da ligação covalente com C.



# Materiais poliméricos na construção tendem a ser compósitos: Plásticos



# Tipos de aditivos

- Estabilizadores
  - Controlam a deterioração dos polímeros
  - Na fabricação ou no uso
    - Raios UV ( $\text{TiO}_2$  – rutilo)
    - Oxidação (ABS, polietilenos e poliestireno)
    - Calor durante processamento
      - No PVC: evita a remoção do H e do Cl durante o processamento

# Tipos de Aditivos

- Pigmentos



- compatibilidade
- retenção cor
- Devem possuir
  - ↑ estabilidade química,
  - ↑ estabilidade à temperatura e à pressão

- Antiestáticos

- Polímeros são maus condutores,
- acumulam eletricidade estática
- atraem a umidade do ar
- ↑ **Condutividade**

# Tipos de Aditivos

- **Cargas**

- Alteram propriedades mecânicas
  - Diminuem a capacidade de deformação
  - Aumentam a rigidez
- Exemplos:
  - Negro de fumo em pneus
  - Talco em polipropileno
  - Carbonato de cálcio em PVC
- Aumentam o rendimento resina
  - $\text{Ca}(\text{CO})_3$ , sílica e argila

- **Plastificantes**

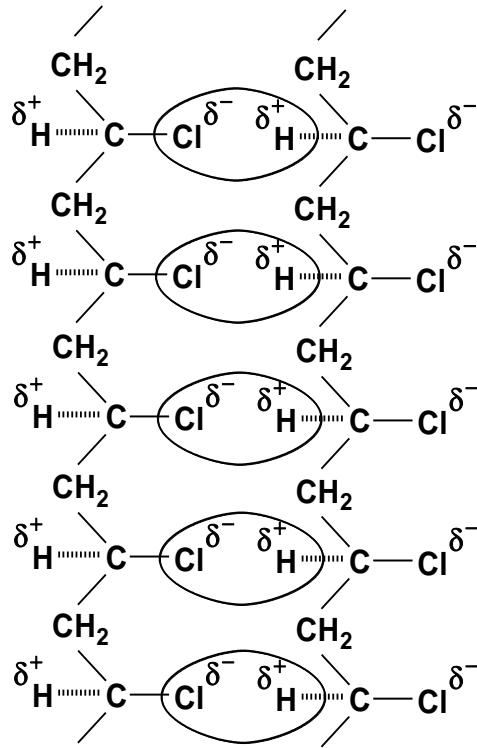
- Cadeias de baixo peso molecular
- Reduzem as forças de van der Waals entre as cadeias
- Reduzem a  $T_g$
- Produção: conformação
  - $TG_{\text{PVC}} > \text{temp. ambiente}$
- Em uso
  - $< E$
  - comportamento plástico
  - afetam a durabilidade



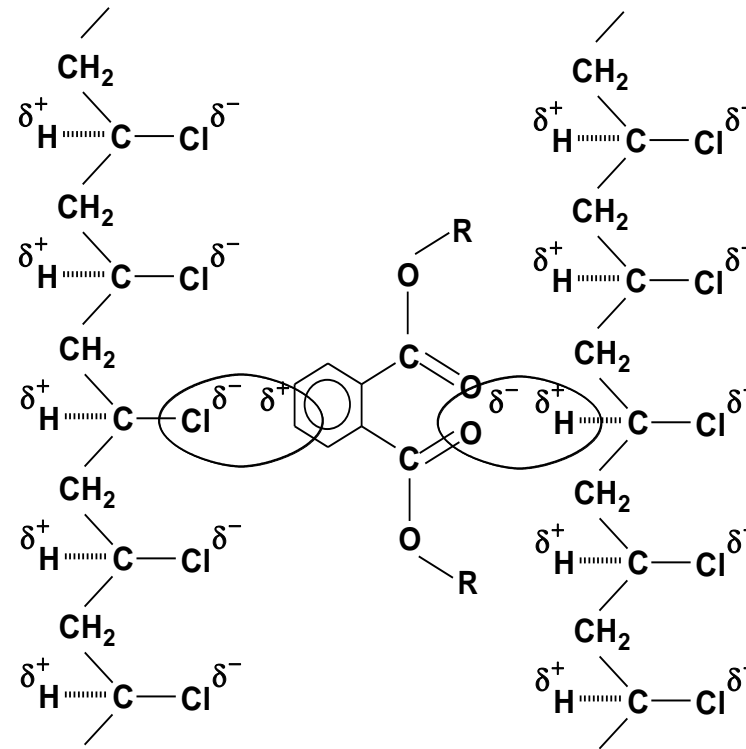
# Tipos de Aditivos: plastificantes

- Reduzem a Tg do polímero
- Usados em polímeros  $T_g > T$  ambiente
  - Cadeias de baixo peso molecular
  - Reduzem as forças de van der Waals entre as cadeias
  - reduzem a Tg
  - produção: conformação
    - $TG_{PVC} > \text{temp. ambiente}$
  - em uso
    - $< E$
    - comportamento plástico
    - afetam a durabilidade
- Problemas de saúde com alguns (ftalatos)

# Plastificantes



PVC sem plastificante  
Cadeias próximas →  
Elevada atração de van de Waals



PVC plastificado  
Cadeias afastadas →  
Atração de van de Waals é atenuada

# Formulação e Desempenho Mecânico do PVC

## Objetivo:

Verificar experimentalmente a influência do teor de plastificante no desempenho mecânico do plástico.

RODOLFO Jr., A.; NUNES, L.R.; ORMANJI, W. **Tecnologia do PVC**. São Paulo: Pro Editores/Braskem, 2002. 400p  
(download no site [www.braskem.com.br](http://www.braskem.com.br))

# Formulações básicas

<b>Fase</b>	<b>Produto</b>	<b>Função</b>
Polímero	Resina PVC Braskem SP 1000	Resistência
Aditivo	Composto Bário + Zinco Mark 5000	Estabilizante térmico
	Óleo de soja epoxidado Drapex 6.8	Co-estabilizante térmico
	Estearina	Lubrificante
	DOP	Plastificante
Carga	CaCO <sub>3</sub> precipitado Barralev C	Dureza, abrasão... Custo

# Formulações

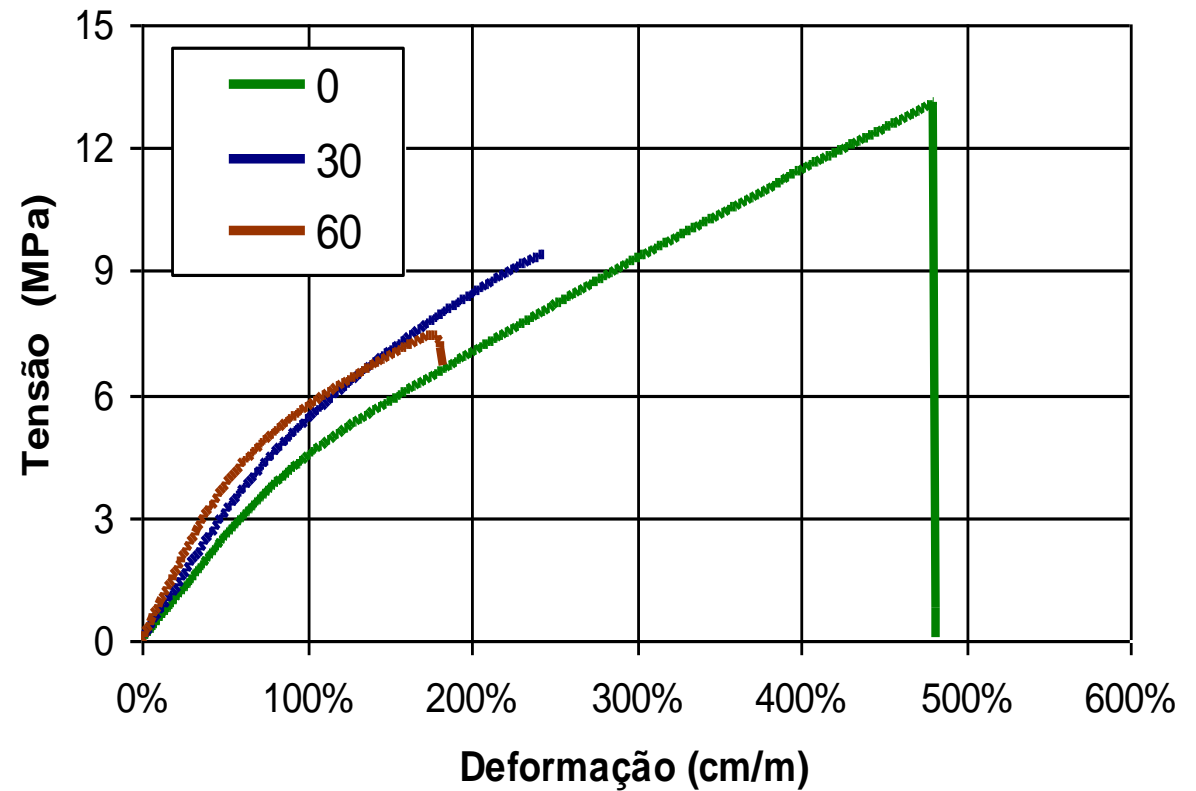
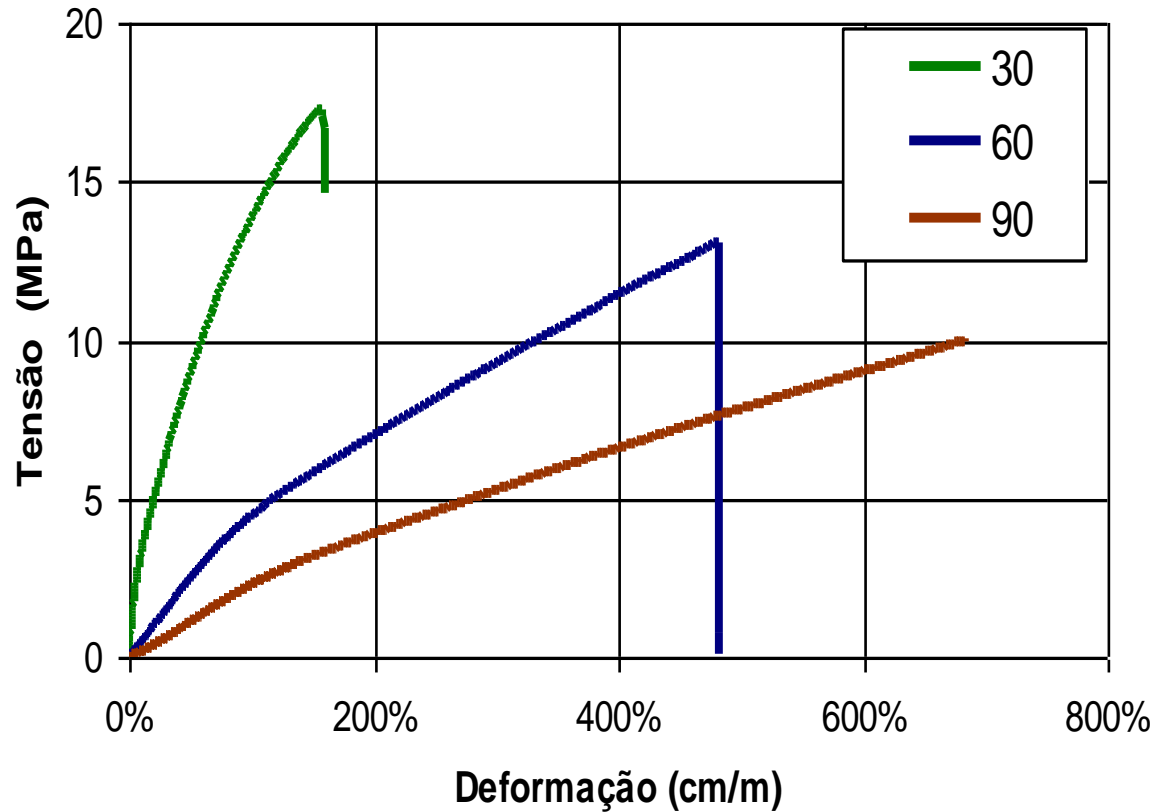
<b>Componentes</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Resina Braskem SP 1000	100	100	100	100	100
Estabilizante Mark 5000	2				
Estabilizante Drapex 6.8	3				
Lubrificante Estearina	0,2				
Plastificante DOP	30	60	90	60	60
Carga Barralev C	0	0	0	30	60

# Ensaios

gravatinhas  
ASTM D638 tipo IV



# Teor de plastificante DOP e carga $\text{CaCO}_3$



# Durabilidade dos plásticos





# Degradação de polímeros

<i>Agentes</i>	<i>Mecanismos</i>
Radiação UV Ozônio, oxigênio	Quebra de ligações
Temperatura	Perda de voláteis
Agentes biológicos	Degradam plastificantes
Solventes	Inchamento Dissolução
Tensões	Fadiga



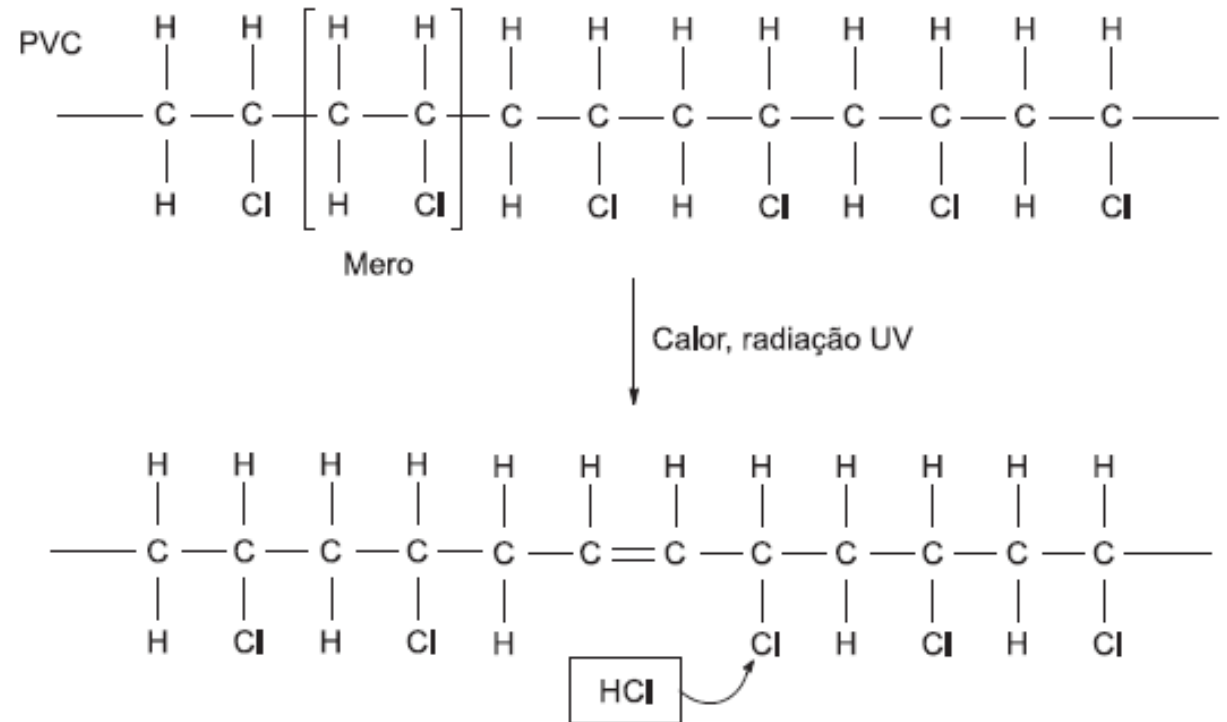
Combinação  
de efeitos

# Radiação



- Alta energia Penetram no polímero
  - superficial
- Ioniza átomo
- Quebra ligação
  - Reduz peso molecular
- Fragilização
- Mudança de cor
- Podem induzir ligações cruzadas

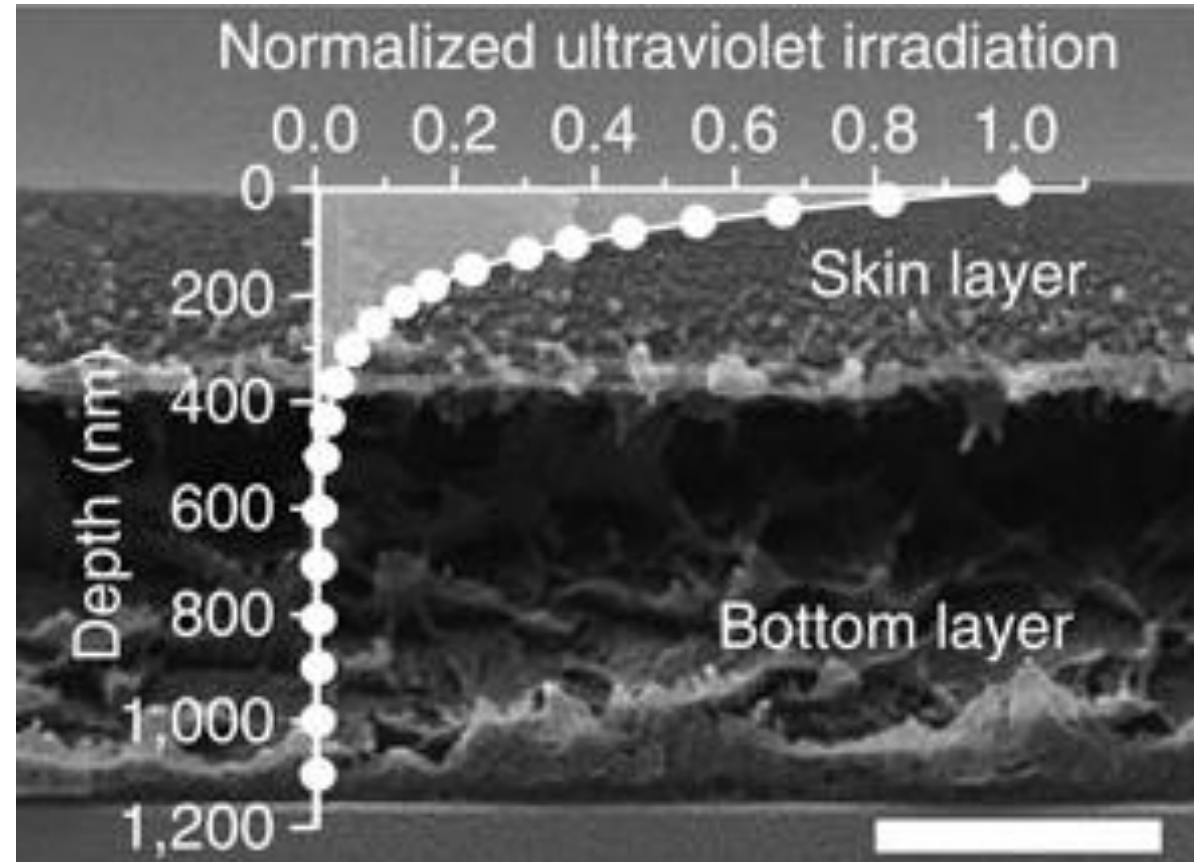
## Quebra da ligação (PVC)



Fonte: Tecnologia do PVC

# Penetração do UV no polímero

(intensidade reduz com a profundidade)



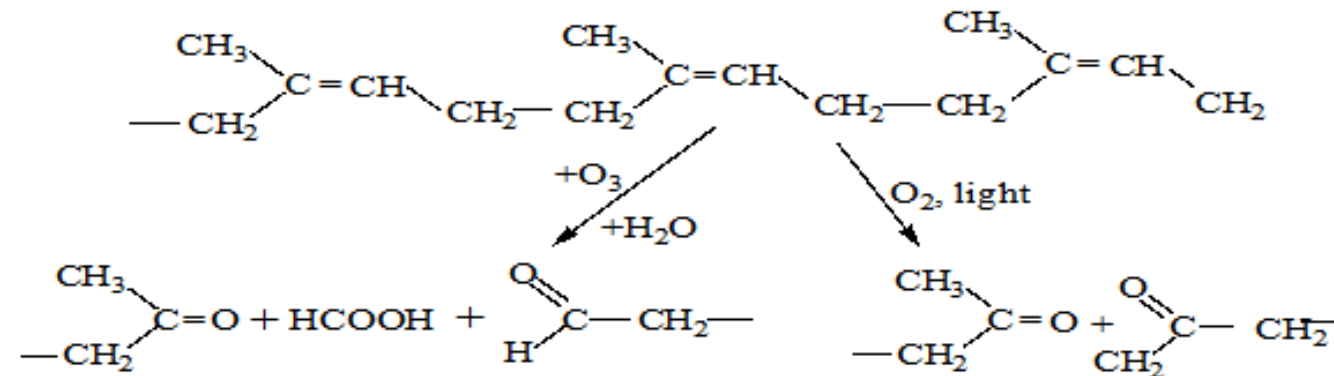
[http://www.nature.com/ncomms/journal/v4/n5/fig\\_tab/ncomms2942\\_F1.html](http://www.nature.com/ncomms/journal/v4/n5/fig_tab/ncomms2942_F1.html)

UV degrada a superfície

# Ozônio, Oxigênio

- Reação com o polímero
- Quebram a cadeia
- Reduzem grau de polimerização
- Fissuras
- Perda de resistência
- Perda de elasticidade
- Elastômeros vulcanizados

Muito parecido com UV



<https://textilestudypoint.blogspot.com/2017/01/polymer-degradation.html>

# Grandes coberturas em plástico: como garantir a vida útil?



Milenium Dome (Londres, 2000)

# Avaliação da Durabilidade

## – Ensaios acelerados

- fatores de degradação
  - intensidade majorada
  - **riscos**

## – Envelhecimento natural

- fatores ambientais
- estações de envelhecimento
- Pequenos corpos de prova

## – Envelhecimento em uso

- condições reais de uso

## – Indicadores de degradação

- resistência a impacto
- Resistência à tração
- Deformação na ruptura
- Análise de cor
- Espectrofotometria ao infravermelho
- Degradação superficial
- Transmissão de luz
- ...

**Aplicação**

# Ensaaios acelerados

- Weather-O-meter
  - radiação
  - calor
  - condensação
  - choque térmico
  - ação cíclica
- Câmara de CUV
  - radiação UV
  - condensação superficial opcional

2000 - 3000h



# Durabilidade de membranas de PVC para coberturas

- Avaliação através de inventário disponível na Europa a América do Norte.
- Coleta de amostras e envio para laboratório de testes na Suíça e testados de acordo com normas alemãs (DIN16726) e suíça (SAI V 280).
- Uma segunda amostra foi enviada ao NRC do Canadá e ensaiadas segundo a norma ASTM D4434.

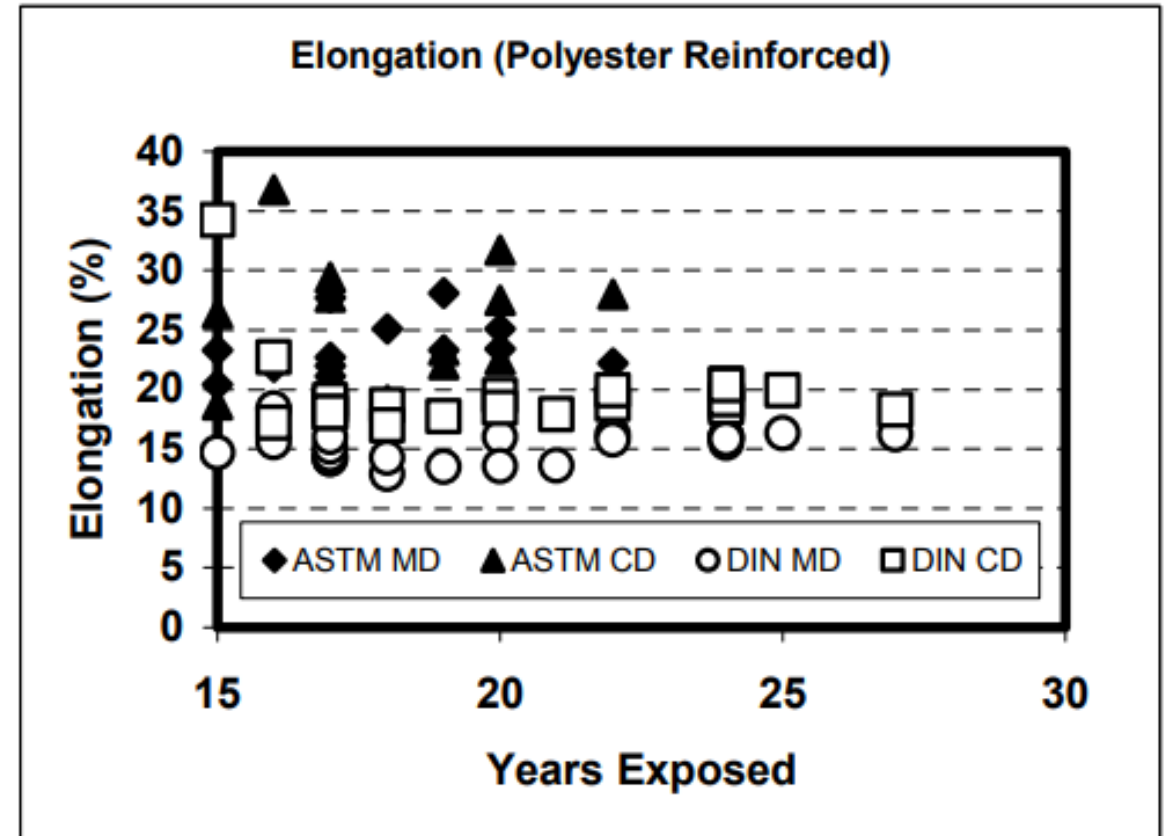
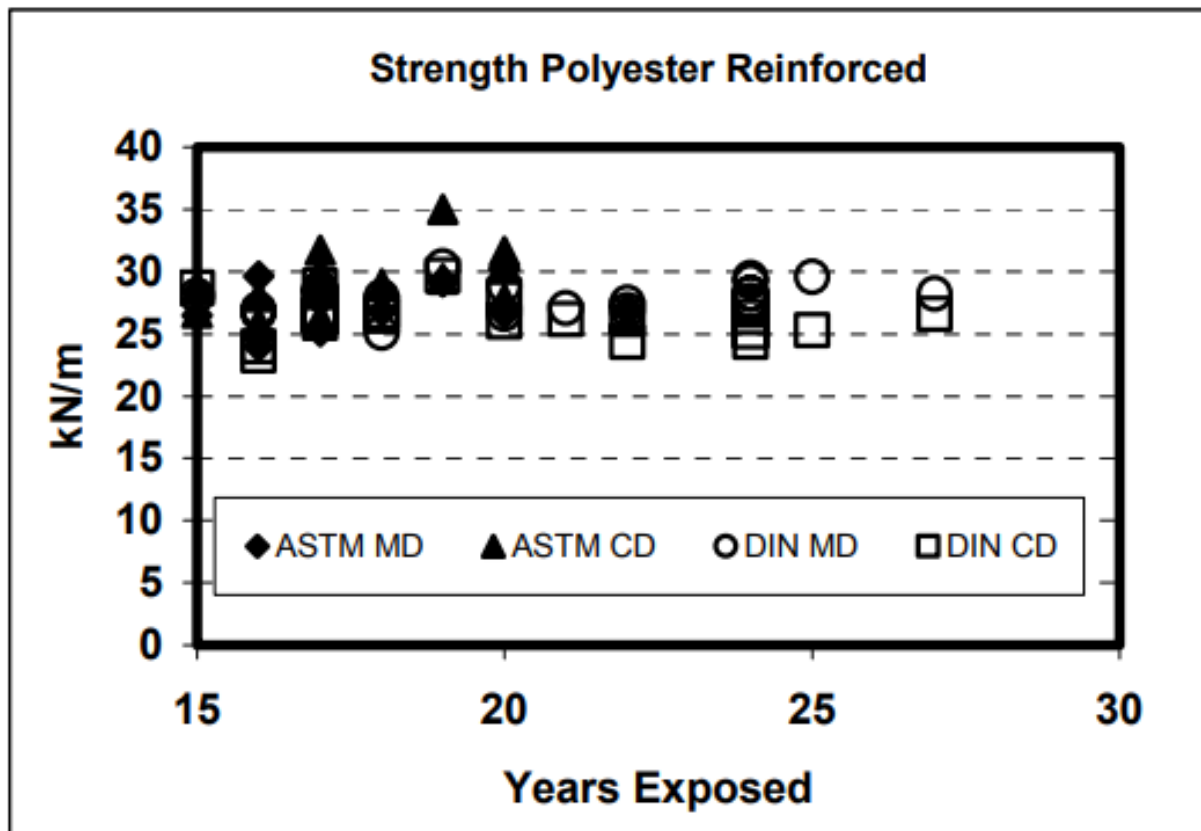


# Amostragem realizada:

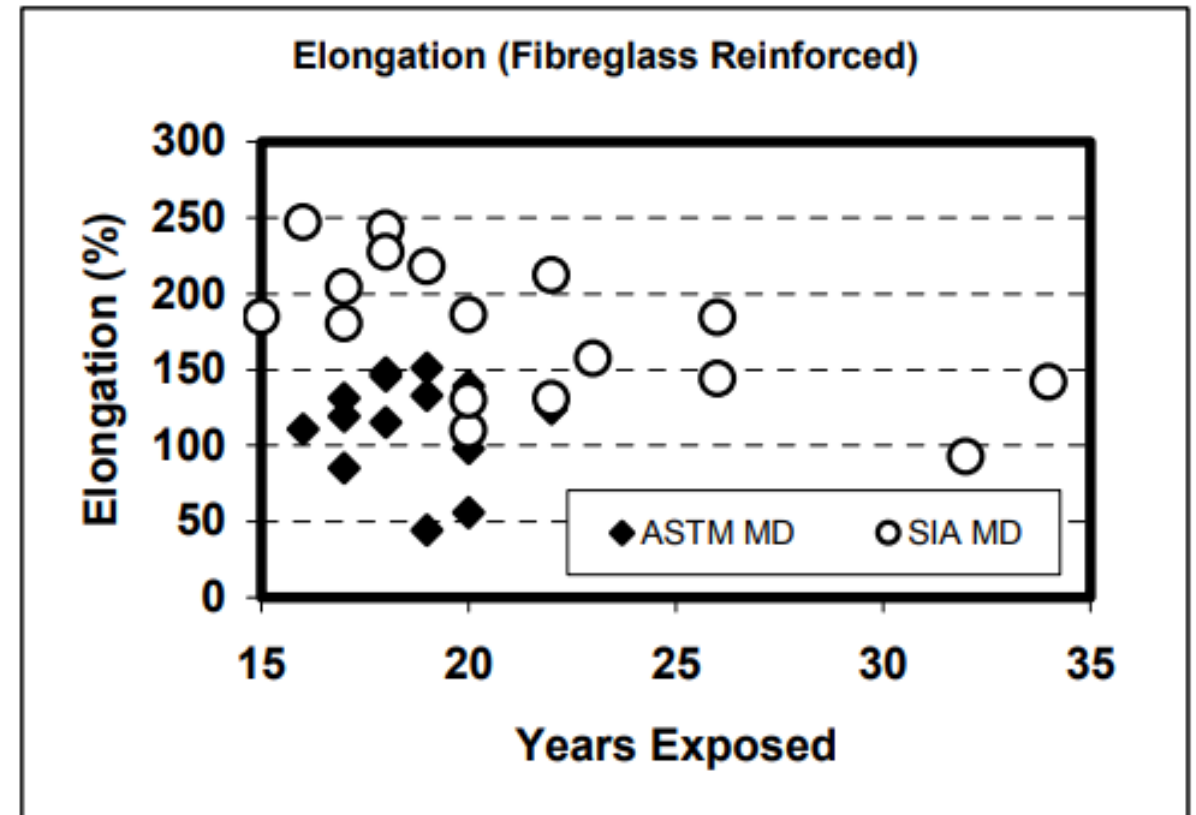
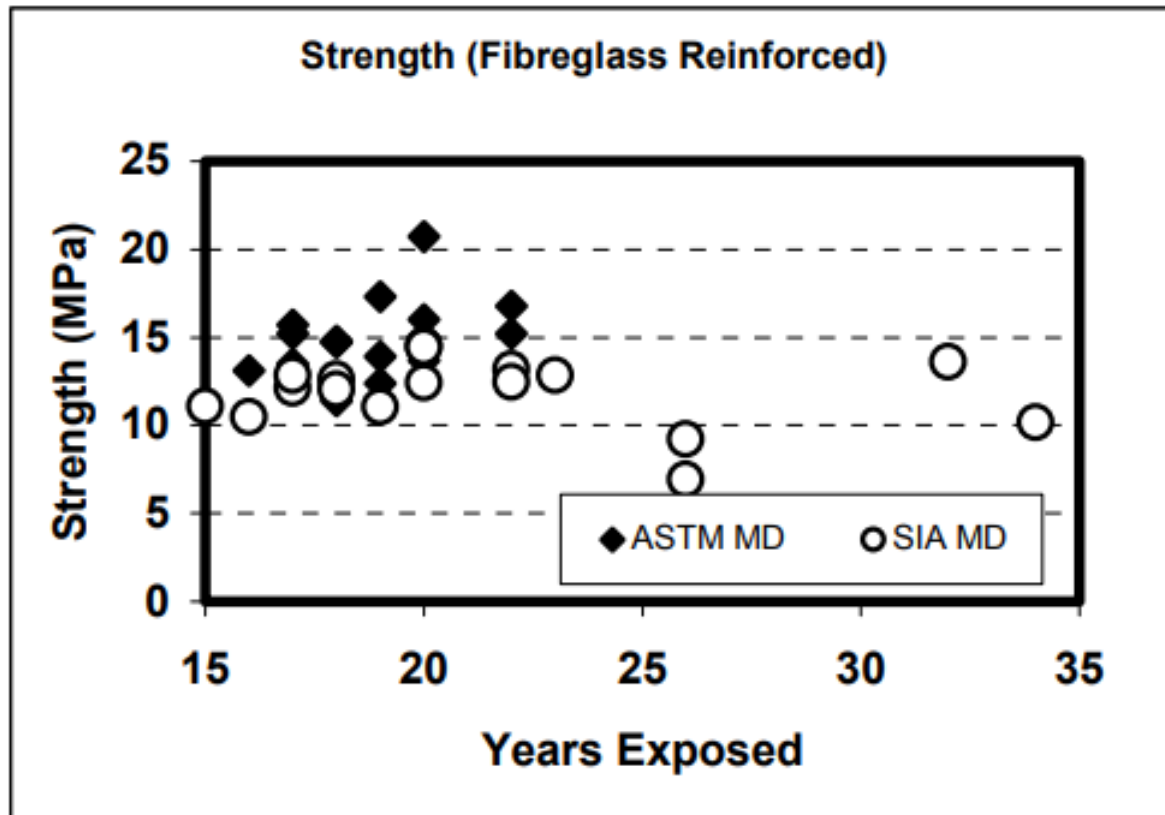
- Resumo de todos os projetos:
  - Amostras 1-26: América do Norte
  - Amostras 101-137: Europa

ID	Project Location	Type*	Instal- led	Age years	ID	Project Location	Type*	Instal- led	Age year s
1A	Canton MA	G - 12	1979	22	21A	Haileybury ON	G - 12	1981	20
1D	Canton MA	S - 12	1979	22	21C	Haileybury ON	S - 12	1981	20
2A	Wenham MA	G - 12	1984	17	22A	Hamilton ON	S - 12	1984	17
2D	Wenham MA	S - 12	1984	17	23A	Alouette QC	G - 12	1983	18
3A	Woburn MA	G - 12	1983	18	25A	Sarnia ON	G - 12	1984	17
4B	Dickson TX	G - 12	1984	17	26	Calgary AB	G - 12	1982	19
5B	Tyler TX	G - 12	1981	20	101	Bregenz, A	S - 12	1978	24
5C	Tyler TX	S - 12	1981	20	102	Villach, A	S - 12	1981	21
6A	Euless TX	S - 12	1984	17	103	Hausmannstätten, A	S - 18	1984	18
7A	City of Industry CA	G - 12	1979	22	104	Vlotho, D	S - 12	1975	27
8A	El Segundo CA	G - 12	1982	19	105	Freiburg, D	S - 12	1977	25
9B	Mountainview CA	S - 12	1983	18	106	Memmingen, D	S - 12	1978	24
10B	Lacey WA	G - 12	1982	19	107	Niedergösgen, CH	S - 12	1978	24
11B	Ft. Steilacoom WA	G - 12	1983	18	108	Schwyz, CH	S - 12	1978	24
12A	Atlanta GA	S - 12	1986	15	109	Geneva, CH	S - 12	1978	24
13A	Jacksonville FL	S - 12	1982	19	110	Bursins, CH	S - 18	1993	9
14A	Appleton WI	S - 12	1985	16	111	Spreitenbach, CH	S - 18	1985	17
15B	Mt. Prospect IL	G - 12	1981	20	112	Canobbio, CH	S - 18	1985	17
15D	Mt. Prospect IL	S - 12	1981	20	131	Arnoldstein, A	G - 14	1986	16
16A	Park Ridge IL	S - 12	1984	17	132	Dortmund, D	G - 14	1979	23
17B	Hackensack NJ	S - 12	1986	15	133	Kempten, D	G - 12	1976	26
18A	Englewood NJ	G - 12	1985	16	134	Camorino, CH	G - 27	1976	26
18C	Englewood NJ	S - 12	1985	16	135	Personico, CH	G - 12	1968	34
19A	Iowa City IA	S - 12	1982	19	136	Lugano, CH	G - 12	1970	32
20B	Davis CA	G - 12	1981	20	137	Reading, UK	G - 12	1987	15

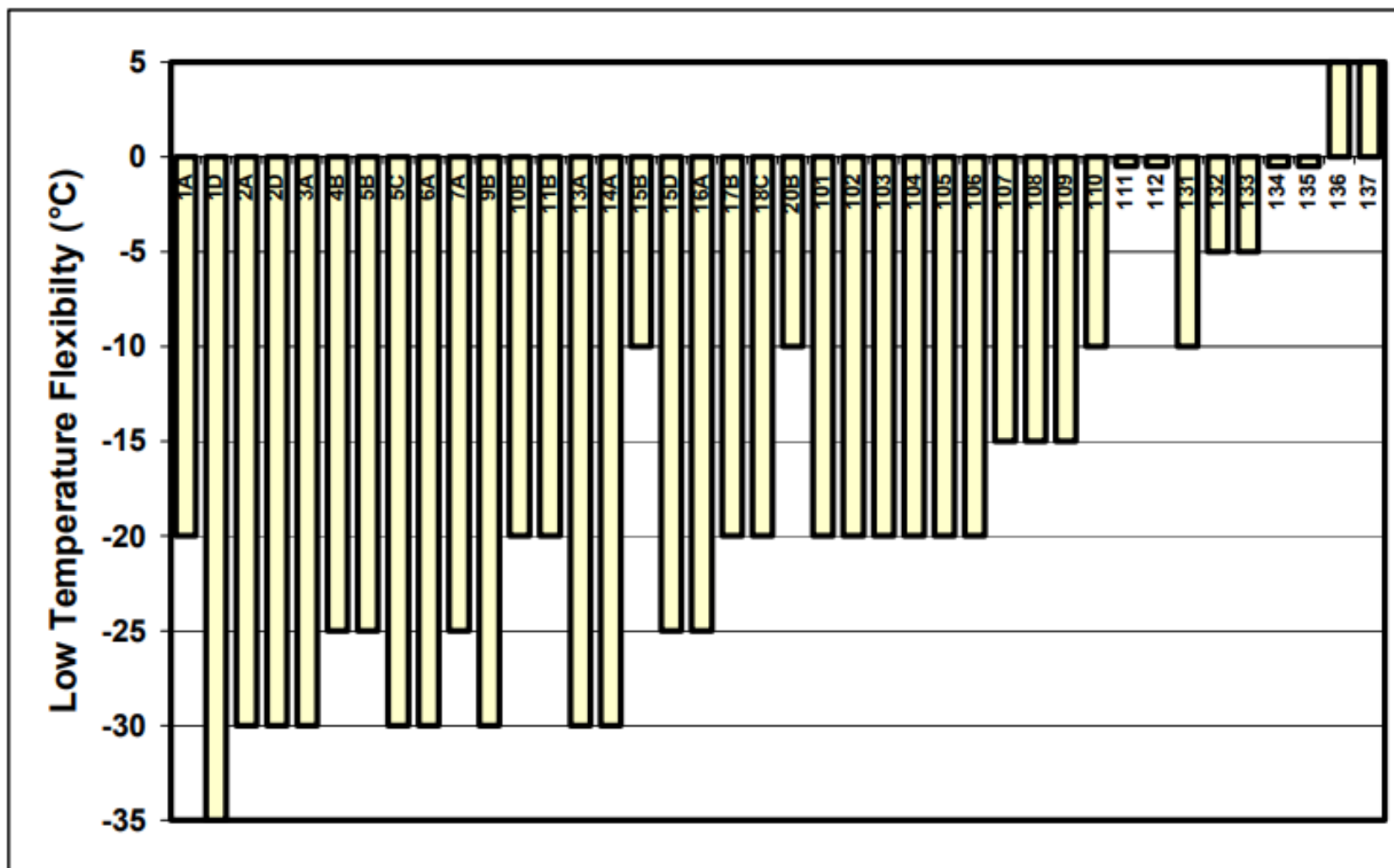
Resistência à tração (esquerda) e alongamento na ruptura (direita) de membranas reforçadas com poliéster versus idade



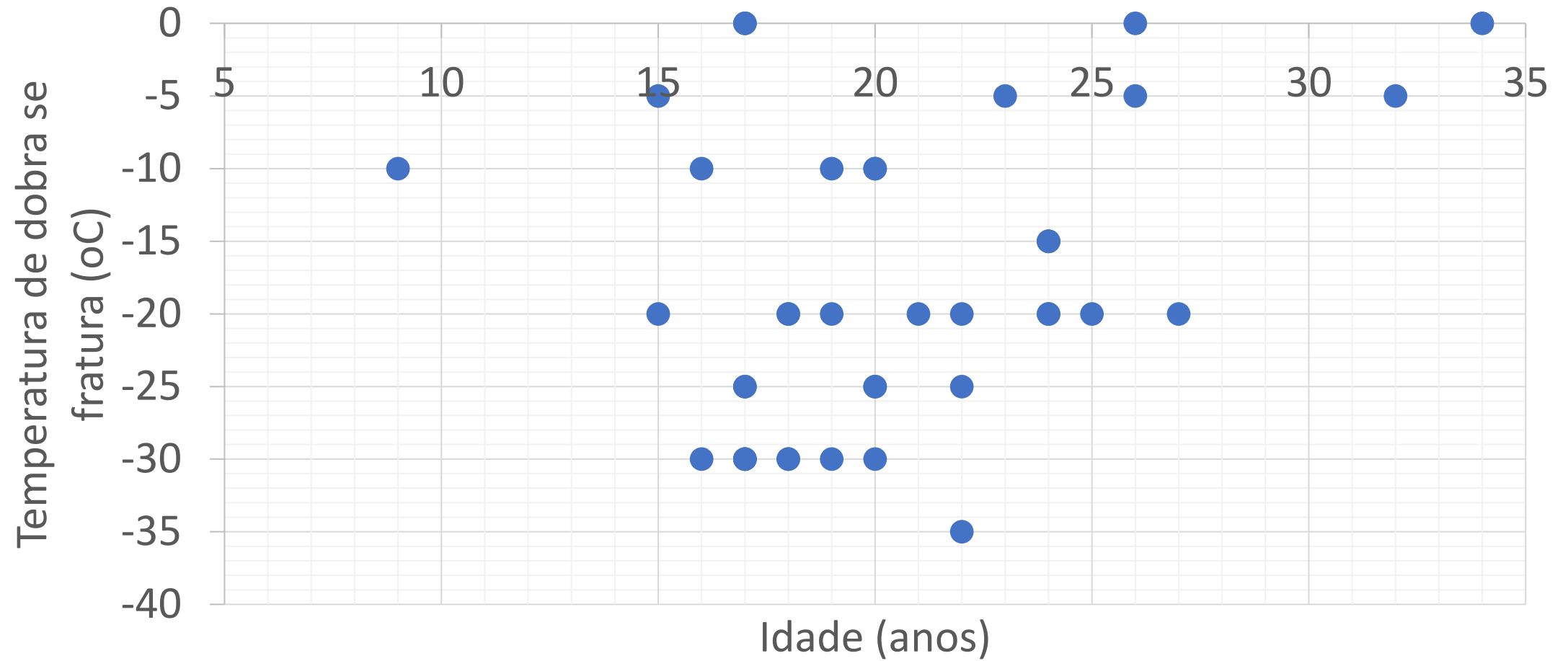
# Resistência à tração e alongamento na ruptura de membranas reforçadas com tecidos de vidro versus idade



# Resistência ao dobramento a frio



# Resistência ao dobramento a frio



# Conclusões sobre o estudo

## Dos autores

- Os testes de laboratório confirmam que embora os produtos testados tenham perdido algumas de suas propriedades físicas iniciais, o que é esperado com quaisquer materiais à medida que envelhecem, eles geralmente resistiram muito bem em comparação com os valores mínimos padrão para testar novas membranas de PVC para telhados de acordo com padrões americanos e europeus.

## Minhas

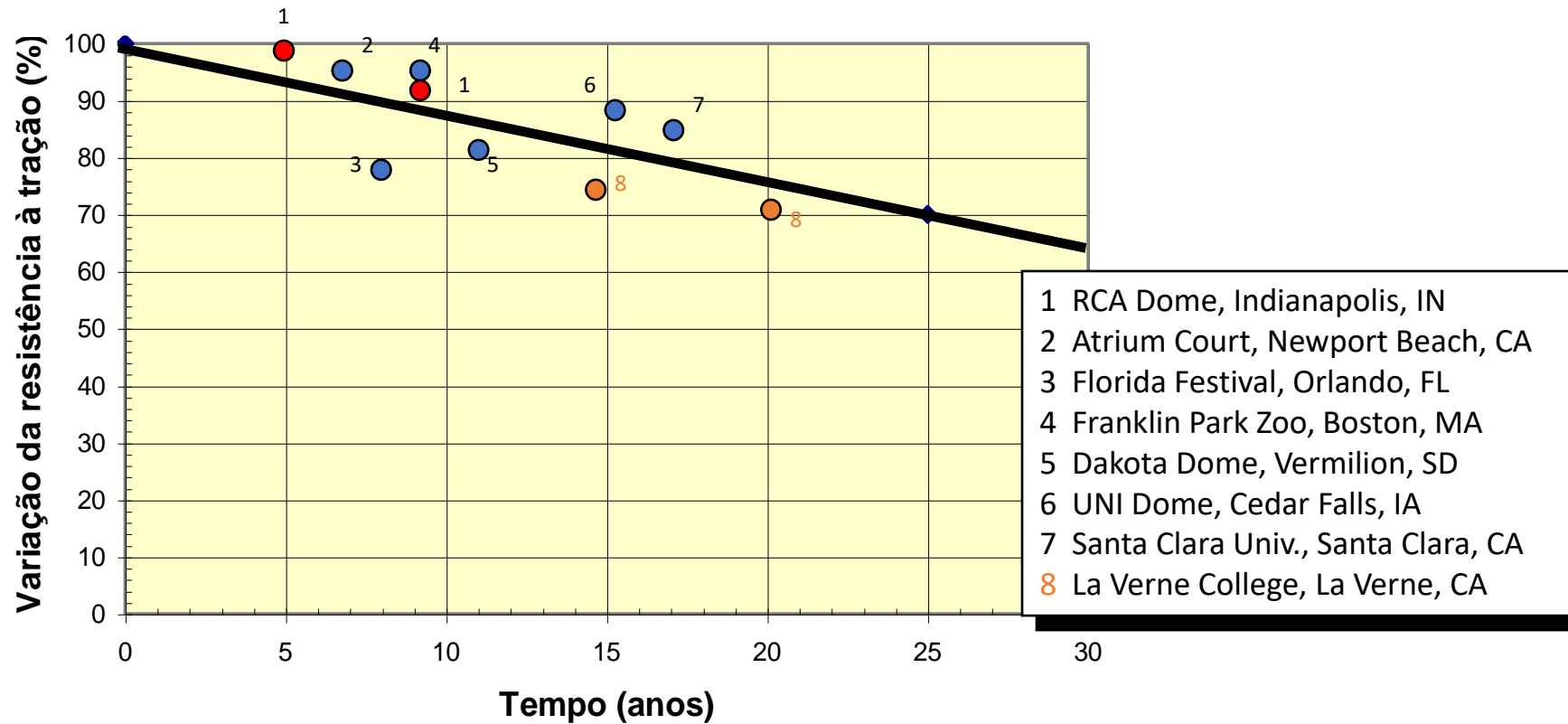
- Não é possível concluir nada porque não houve avaliação inicial das propriedades: avaliou-se apenas o resultado pós envelhecimento.

# Projetando para a vida útil: Tensoestruturas

- Teflon + fibra de vidro
- 320 m de diâmetro,
- 8 ha (80 mil m<sup>2</sup>)
- **Garantia = 25 anos**
- Vida útil ? >> 25 anos

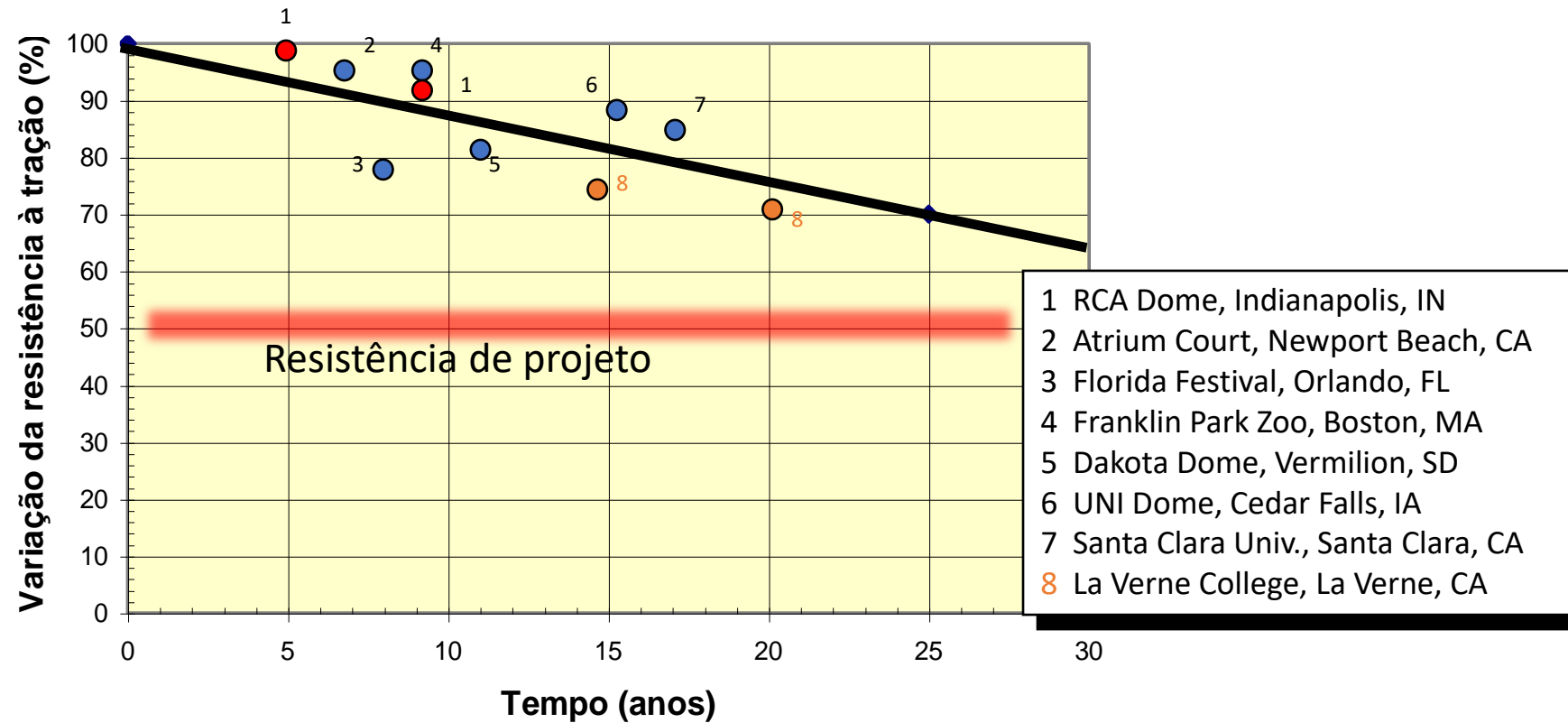


# Medida da taxa de degradação – Envelhecimento em uso





# Projetando para a vida útil



Obrigado!