



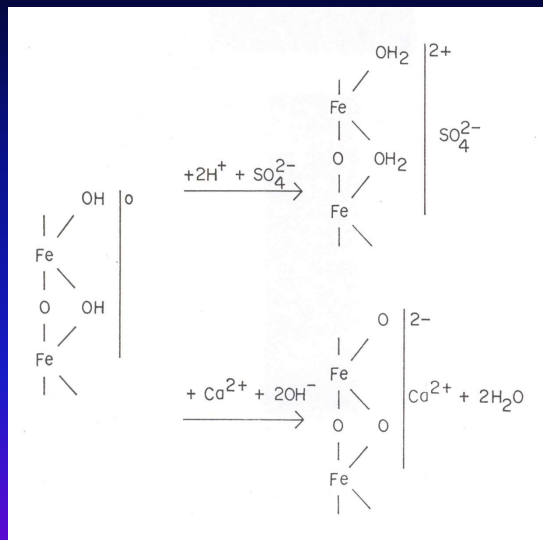
## Método da resina de troca iônica para a avaliação da fertilidade dos solos tropicais

*Dr. José A. Quaggio &  
Dr Fernando C. B. Zambrosi*

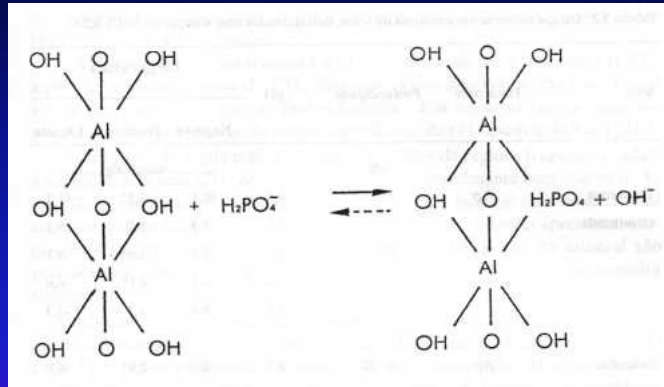
**Centro de Solos e Recursos  
Agroambientais - IAC**

## Superfície de carga variável: o solo como trocador de íons

*Em função do pH do meio, o solo pode ser um trocador de cátions ou de ânions*

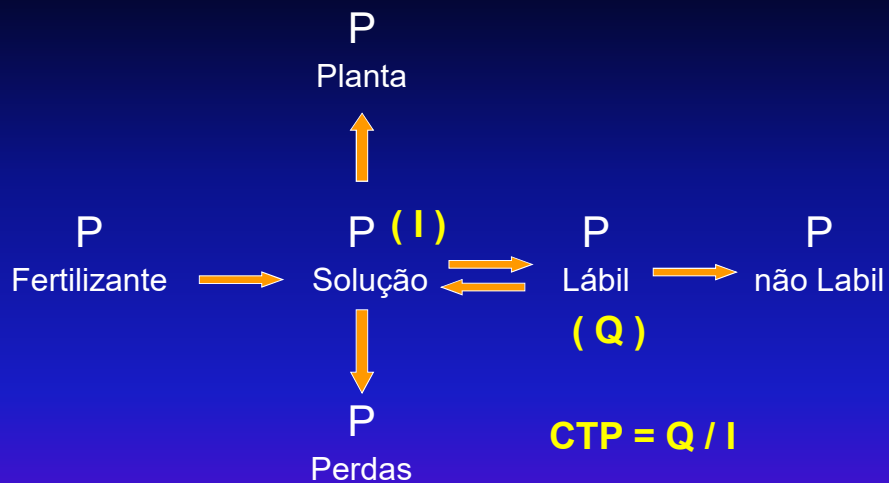


## Propriedades eletroquímicas e adsorção de íons no solo



*Interfase sólido-líquido entre a matriz coloidal e a solução de equilíbrio*

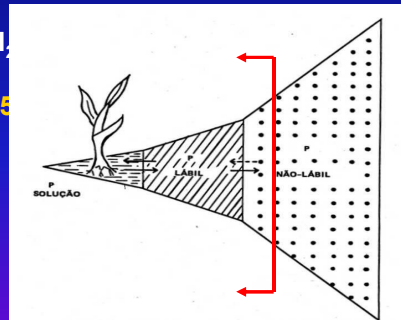
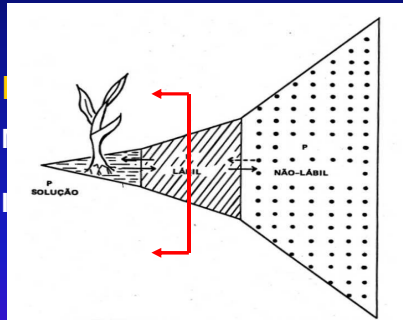
## Equilíbrio do fósforo no solo



O P-solução está em equilíbrio dinâmico com o P em outras formas menos solúveis

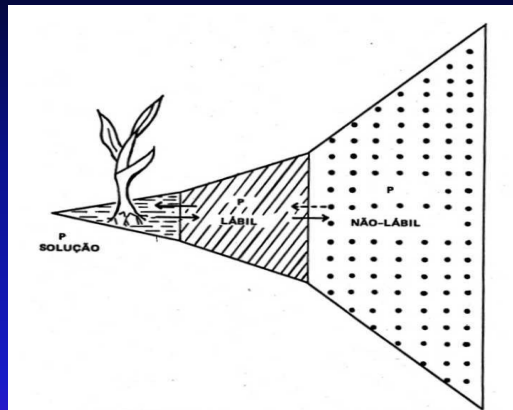
# Extratores do fósforo do solo usados no Brasil

## Extratores ácidos: Princípio ação solvente



Maior extração de fosfatos de cálcio

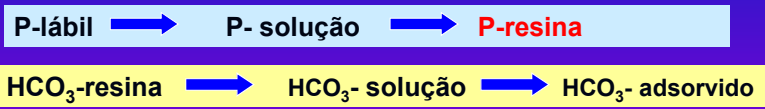
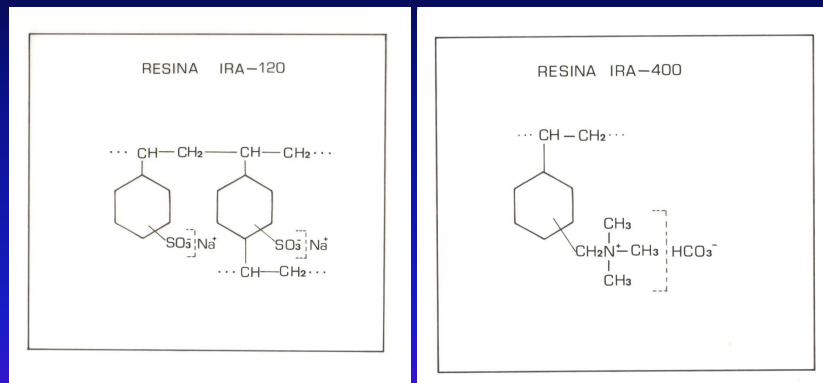
## Equilíbrio do fósforo no solo e extração dinâmica por resina



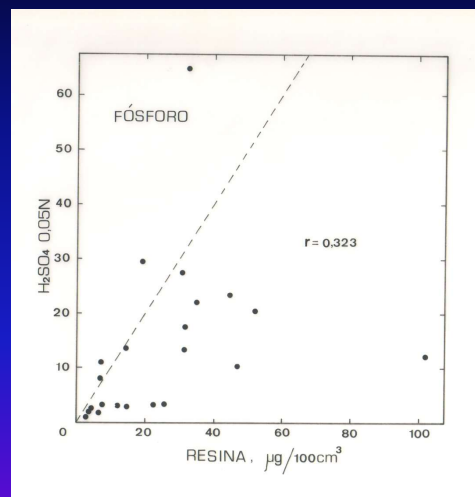
P-nlável → P-lável → P- solução → P-raiz

P-nlável → P-lável → P- solução → P-resina

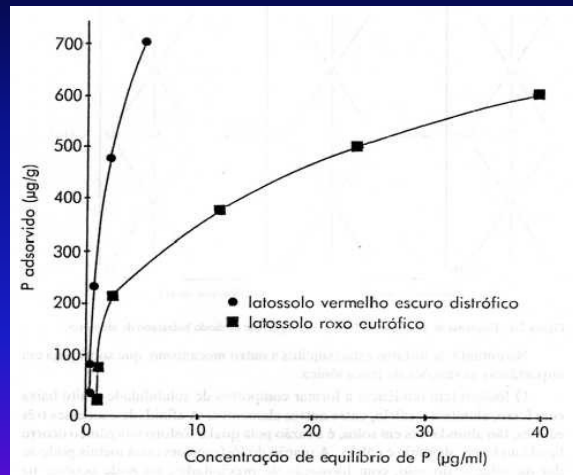
## Extração de nutrientes do solo por resina trocadoras de íons



## Correlação entre fósforo, extraído com resina e ácido sulfúrico diluído

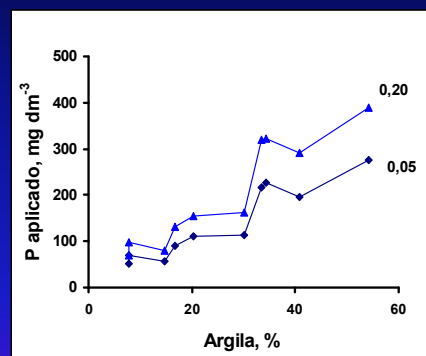
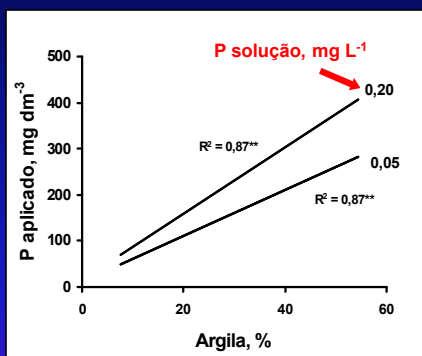


## Curvas de adsorção de fosfato em solos tropicais argilosos



Fonte: Lourenço (1973)

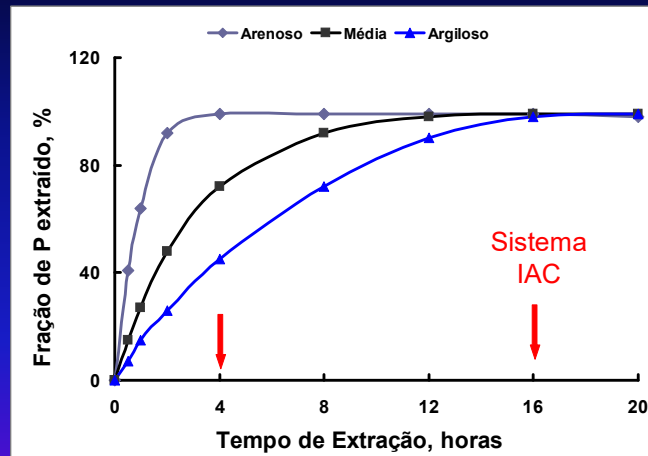
## Doses de P para manter níveis de P na solução do solo em LVa, com diferentes teores de argila



Fonte: Adaptado de Lopes (1977)

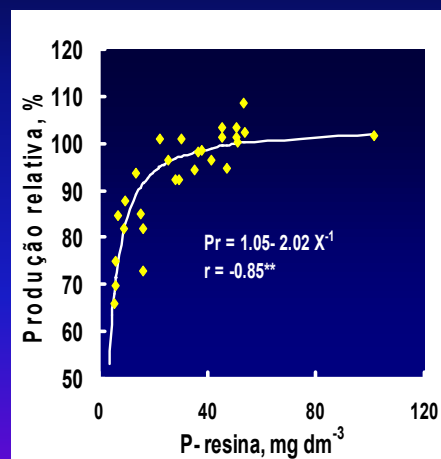
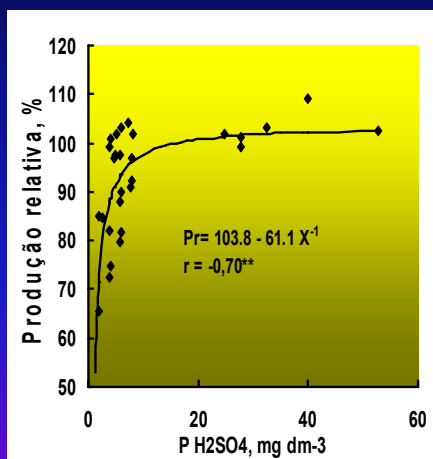
Fonte: Adaptado de Lopes (1977)

## Extração de P por resina, em solos com diferentes teores de argila



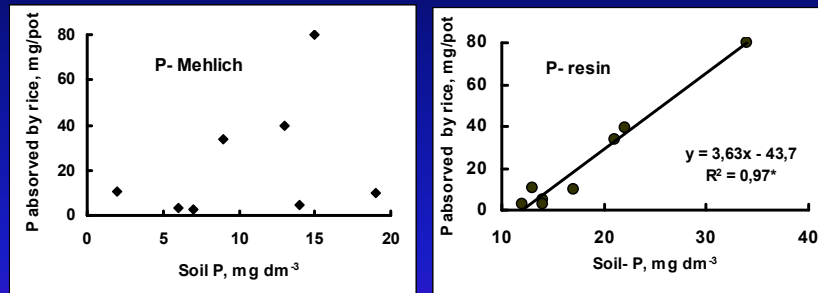
Fonte: Rajj & Quaggio, 1983

## Calibração de P no solo por dois extratores usados no Brasil, em 26 ensaios com algodão



Fonte: Rajj et al. (1987)

## Experimento em vasos com arroz em solo inundado: Seleção de extratores de nutrientes



Fonte: Grande et al. (1986)

## Interpretação dos resultados e análise crítica dos métodos

## Interpretação para análise de fósforo em solos pelo método Mehlich, no Estado de MG

Características	Classificação			
	Muito Baixo	Baixo	Médio	Bom
Argila (%)	Fósforo disponível, mg dm <sup>-3</sup>			
60 - 100	≤ 2,7	2,8 - 5,4	5,5 - 8,0	8,1 - 12,0
35 - 60	≤ 4,0	4,1 - 8,0	8,1 - 12,0	12,1 - 20,0
15 - 35	≤ 6,6	6,7 - 12,0	12,1 - 20,0	20,1 - 30,0
0 - 15	≤ 10,0	10,1 - 20,0	20,1 - 30,0	30,1 - 45,0
P-rem (mg L <sup>-1</sup> )				
0 - 4	≤ 3,0	3,1 - 4,3	4,4 - 6,0	6,1 - 8,3
4 - 10	≤ 4,0	4,1 - 6,0	6,1 - 8,3	8,1 - 11,4
10 - 19	≤ 6,0	6,1 - 8,3	8,4 - 11,4	11,1 - 15,8
19 - 30	≤ 8,0	8,1 - 11,4	11,5 - 15,8	15,1 - 21,8
30 - 44	≤ 11,0	11,1 - 15,8	15,9 - 21,8	21,9 - 33,0
44 - 60	≤ 15,0	15,1 - 21,8	21,9 - 30,0	30,1 - 45,0

Fósforo remanescente: concentração de fósforo da solução de equilíbrio após agitar durante 1 h a TFSA com solução de 0,01M CaCl<sub>2</sub>, contendo 60 mg L<sup>-1</sup> de P, na relação 1:10.

Fonte: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999)

## Interpretação para análise de fósforo em solos pelo método Mehlich, nos Estados do RS e SC

Classes de P no solo	Classe de solo em função do teor de argila, %				Solos alagados
	> 60	60-41	40-21	≤ 20	
	..... mg dm <sup>-3</sup> .....				
Muito baixo	≤ 2,0	≤ 3,0	≤ 4,0	≤ 7,0	
Baixo	2,1 - 4,0	3,1 - 6,0	4,1 - 8,0	7,1 - 14,0	≤ 3,0
Médio	4,1 - 6,0	6,1 - 9,0	8,1 - 12,0	14,1 - 21,0	3,1 - 6,0
Alto	6,1 - 12,0	9,1 - 18,0	12,1 - 24,0	21,1 - 42,0	6,1 - 12,0
Muito alto	> 12,0	> 18,0	> 24,0	> 42,0	> 12,0

Fonte: Comissão de Química e Fertilidade do Solo dos Estados de RS e SC (2004)



## Interpretação para análise de fósforo em solos pelo método da resina, nos Estados do RS, SC e SP

Classes de P	P-resina	
	RS/SC	SP <sup>(1)</sup>
	mg dm <sup>-3</sup>	
Muito baixo	< 5	< 5
Baixo	5 - 10	7 - 15
Médio	10 - 20	16 - 40
Alto	20 - 40	> 40
Muito alto	> 40	

<sup>(1)</sup> Culturas anuais

Fonte: Comissão de Química e Fertilidade do Solo dos Estados de RS e SC (2004) e Raij et al. (1997)

## Dificuldades atuais com as análises de solo pelo Sistema IAC

## Panorama dos Métodos Usados Extração Cátions



SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO  
AGENCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS  
INSTITUTO AGRONÔMICO  
Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais  
Av. Barão de Itapura, 1.481- Caixa Postal 28  
CEP 13020-970 Campinas, SP, Brasil – Tel.: (19) 2137-0750

Agosto de 2017

CPDSRA-45/2018

Ensaio de Proficiência IAC para Laboratórios de Análise de Solo para Fins de Fertilidade

*Levantamento de Métodos Usados para Análises Específicas*

Número do Laboratório em 2017: \_\_\_\_\_.

- 1) Para quem usa resina para extrair P  
( ) uso resina também para K, Ca e Mg  
( ) uso cloreto de amônio para K, Ca e Mg  
( ) uso outra opção para os cátions trocáveis (KCL)

## Panorama dos Métodos Usados Extração Cátions

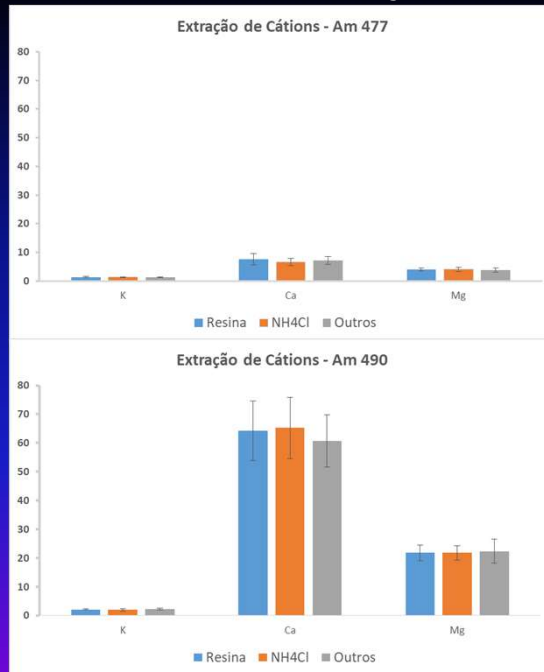
Laboratórios usam resina para extrair Fósforo:

### Extração de Cátions

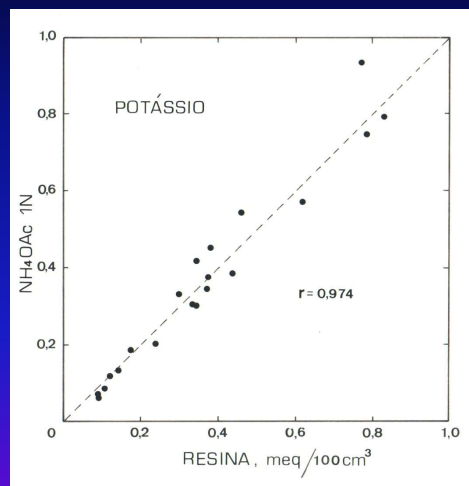


Todos Laboratórios fazem P-resina e Cloreto de Amônio ou KCl para cations

## Teores de Cátions: Métodos Extração Laboratórios A

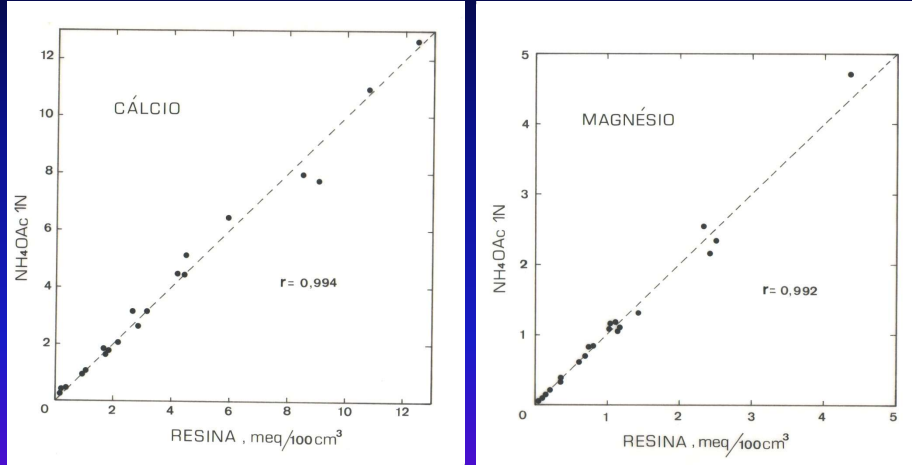


## Correlação entre potássio trocável, extraído com resina e acetato de amônio a pH 7,0



Fonte: Raj & Quaggio, 1983

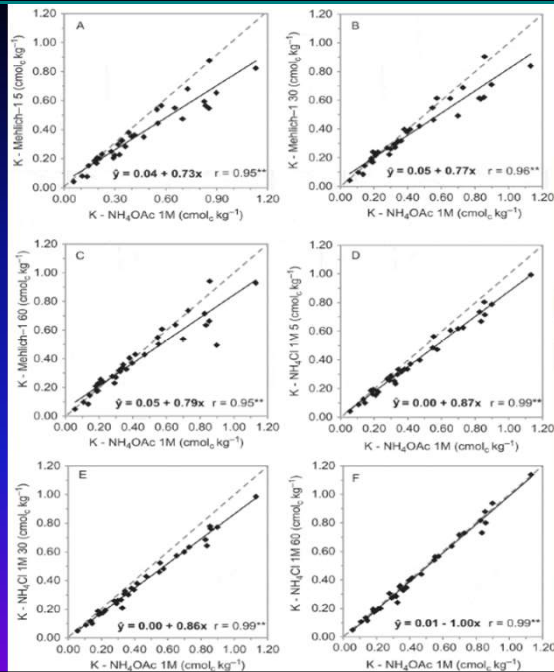
## Correlação entre os teores trocáveis de Ca e Mg, extraído com resina e acetato de amônio a pH 7,0



Fonte: Rajj & Quaggio, 1983

## Extração Cátions: Cloreto Amônio vs Acetato Amônio

**Cloreto de Amônio vs Acetato de Amônio:  
Potássio**

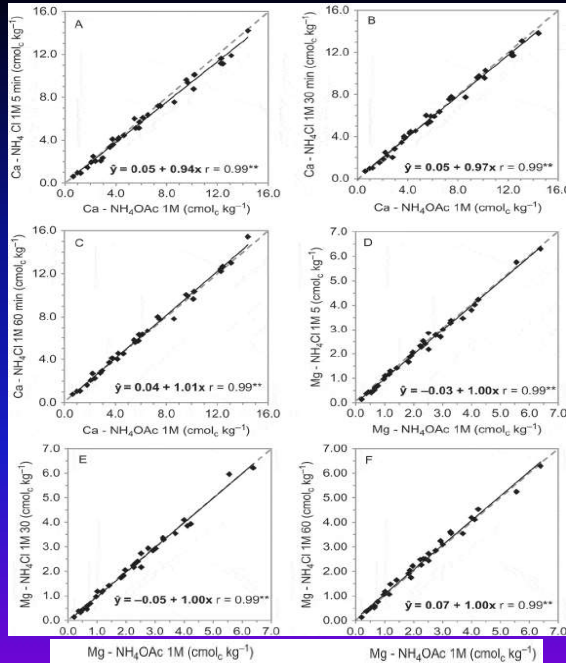


Ammonium Chloride Solution as an Alternative Laboratory Procedure for Exchangeable Cations in Southern Brazilian Soils

Gianello & Amorim, 2014

## Extração Cátions: Cloreto Amônio vs Acetato Amônio

Cálcio e Magnésio



Ammonium Chloride Solution as an Alternative Laboratory Procedure for Exchangeable Cations in Southern Brazilian Soils

Gianello & Amorim, 2014



## Resina catiônica Amberlite Dow IRA 120

**AMBERLITE™ IR120 Na**  
Industrial Grade Strong Acid Cation Exchanger

**Introduction**


AMBERLITE IR120 Na resin is a gel type strongly acidic cation exchange resin of the type. It is used for water softening (in Na<sup>+</sup> form) as well as for water form) in co-flow regenerated units. AMBERLITE IR120 Na resin is an ion exchange resin that can be used for a wide variety of applications including both softening and demineralisation.

**Properties**

Amber spherical beads  
Styrene divinylbenzene copolymer  
Sulfonate  
Na<sup>+</sup>  
Capacity  $\geq 2.00$  eq/L (Na<sup>+</sup> form)  
Moisture holding capacity 45 to 50 % (Na<sup>+</sup> form)  
Shipping weight 840 g/l  
Particle Size  
Uniformity coefficient  $\leq 1.9$   
Harmonic mean size 0.600 to 0.800 mm < 0.300 mm 2% max.  
Maximum reversible swelling Na<sup>+</sup> → H<sup>+</sup>  $\leq 11$  %

Fonte: Quaggio, 2017

## Resina catiônica Amberjet Dow 4200



**AMBERJET™ 4200 Resin**  
For Industrial Water Treatment

AMBERJET™ 4200 Resin is a uniform particle size, high quality, strong base type 1 resin designed for use in all general demineralization systems. The uniform particle size of AMBERJET 4200 Resin have been optimised for equipment including mixed beds, when paired with AMBERJET 1000 or THON (TM) C cation resins. AMBERJET 4200 Resin can be directly substituted for conventional gel anion exchange resin in new equipment and in rebeds of existing installations.

$$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{H}_3\text{C}-\text{N}^+-\text{CH}_3 \end{array}$$

Physical form	Yellow translucent spherical beads
Matrix	Styrene divinylbenzene copolymer
Functional group	Trimethyl ammonium
Ionic form as shipped	Cl <sup>-</sup>
Exchange capacity	1.3 eq/L (28.5 kg/R <sup>3</sup> )
Moisture holding capacity	49–56%
Shipping weight	670 g/L (4.7 lbs/R <sup>3</sup> )
Particle size	
Uniformity coefficient	1.2
Harmonic mean diameter	0.60–0.80 mm
Fines content	< 0.425 mm : 0.5% max
Maximum reversible swelling	Cl <sup>-</sup> → OH <sup>-</sup> : about 30%

Fonte: Quaggio, 2017

## Resina aniônica Amberlite Dow IRA 402

### AMBERJET™ 1200 Na Industrial Grade Strong Acid Cation Exchanger

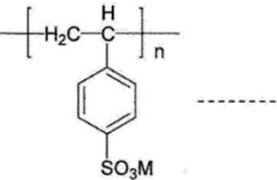
#### Description

AMBERJET 1200 Na resin is a uniform particle size, high quality, strong acid cation exchanger designed for use in all water treatment applications: softening as well as demineralisation. The uniformity and mean particle size of AMBERJET 1200 Na resin have been optimised for use in industrial equipment. In H<sup>+</sup> cycle, it can be used in mixed bed applications paired with AMBERJET 4200 Cl resin. AMBERJET 1200 Na resin can be directly substituted for conventional gel cation exchange resin in new equipment and in rebeds of existing installations.

#### Typical Properties

These properties are typical but do not constitute specifications.

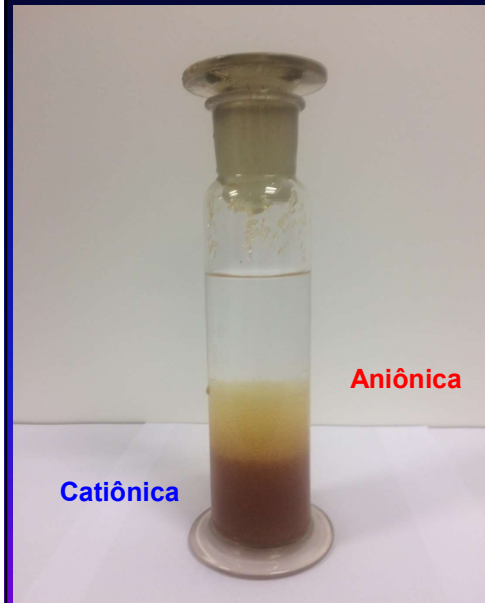
Physical form	Amber spherical beads
Matrix	Styrene divinylbenzene copolymer
Functional group	Sulfonate
Ionic form as shipped	Na <sup>+</sup>
Total exchange capacity <sup>[1]</sup>	≥ 2.00 eq/L (Na <sup>+</sup> form)
Moisture holding capacity <sup>[1]</sup>	43 to 47% (Na <sup>+</sup> form)
Shipping weight	850 g/L
Specific gravity	1.26 to 1.30 (Na <sup>+</sup> form)
Particle size	
Uniformity coefficient <sup>[1]</sup>	≤ 1.2
Harmonic mean size	620 ± 50 μm
Fines content <sup>[1]</sup>	< 0.300 mm : 0.1% max
Maximum reversible swelling	Na <sup>+</sup> → H <sup>+</sup> : 10%



Fonte: Quaggio, 2017



## Segregação de resinas de troca iônica



Resina Amberlite IRA 402  
(aniônica)

Resina Amberlite IRA 120  
(catiônica)

## Correlação entre os teores fósforo extraído com resinas Dow Amberjet 4200 e Amberlite IRA 402

Amostra controle	Resultado Padrão	Resina Amberjet		Resina Amberlite	
		Resina A-	Resina C+ A- mg dm <sup>-3</sup>	Resina A-	Resina C+ A-
IAC- 67	10 - 15	17	16	16	21
IAC-68	16 - 30	20	27	23	20
IAC 69	2 - 6	3	4	4	4
477	4 - 7	6	8	8	9
478	9 - 18	14	17	19	18
479	57 - 141	110	120	105	124
480	20 - 35	26	34	26	34
484	152 - 313	251	305	251	307
491	5 - 11	10	11	8	12
493	21 - 32	31	31	27	30
494	4 - 9	8	9	8	9
495	7 - 15	12	16	13	16
496	28 - 43	25	44	22	38

Fonte: Quaggio et al, 2017



## Correlação entre os teores trocáveis de potássio, extraído com resina e acetato de amônio a pH 7,0

Amostra controle	Resultado Padrão	Acetado de NH <sub>4</sub>	Resina Amberjet		Resina Amberlite	
			Resina C+	Resina C+ A-	Resina C+	Resina C+ A-
			<i>mmol c dm<sup>-3</sup></i>			
IAC- 67	0,8 - 1,4	1,3	1,3	1,0	0,6	0,8
IAC-68	2,3 - 3,8	3,1	3,4	4,2	3,1	2,5
IAC 69	0,1 - 0,5	0,2	0,5	0,4	0,0	0,2
477	1,1 - 1,7	1,4	1,4	1,7	1,8	2,3
478	1,0 - 1,6	1,5	1,7	2,3	1,5	2,0
479	3,4 - 5,7	5,2	5,2	4,0	4,7	4,6
480	4,1 - 7,0	5,5	6,9	5,6	6,6	5,7
484	5,8 - 9,3	6,9	6,7	8,5	9,0	8,1
491	0,4 - 0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	1,1
493	4,6 - 6,2	5,8	5,8	5,5	6,4	5,8
494	1,1 - 1,5	2,1	1,0	1,3	1,6	1,9
495	0,9 - 1,6	2,0	1,2	1,2	1,5	1,8
496	1,7 - 2,5	2,3	2,0	1,5	2,3	2,6

Fonte: Quaggio et al, 2017

## Correlação entre os teores trocáveis de cálcio extraído com resina e outros extratores

Amostra controle	Resultado Padrão	KCl	Acetado de NH <sub>4</sub>	Resina Amberjet		Resina Amberlite	
				Resina C+	Resina C+ A-	Resina C+	Resina C+ A-
				<i>mmol c dm<sup>-3</sup></i>			
IAC- 67	9 - 17	12	11	16	12	19	16
IAC-68	25 - 39	31	29	39	25	36	30
IAC 69	0 - 4	2	2	6	4	6	5
477	4 - 10	6	8	8	8	16	12
478	3 - 7	6	5	10	4	12	8
479	38 - 67	39	50	67	56	65	61
480	33 - 48	35	42	48	36	48	42
484	37 - 66	44	54	66	53	64	58
491	3 - 8	5	8	9	5	11	8
493	33 - 46	35	45	47	40	47	44
494	5 - 10	7	9	11	6	12	9
495	30 - 48	34	42	46	37	48	42
496	43 - 80	41	67	89	79	82	80

Fonte: Quaggio, 2017

## Correlação entre os teores trocáveis de magnésio, extraído com resina e acetato de amônio a pH 7,0

Amostra controle	Resultado Padrão	KCl	Acetado de NH <sub>4</sub>	Resina Amberjet		Resina Amberlite	
				Resina C+	Resina C+ A-	Resina C+	Resina C+ A-
				$\text{mmol}_e \text{ dm}^{-3}$			
IAC- 67	2 - 7	4	4	5	3	6	4
IAC-68	11 - 19	15	14	17	13	17	16
IAC 69	0 - 3	0	2	1	1	1	1
477	3 - 5	4	4	4	4	5	5
478	1 - 3	2	2	3	2	3	2
479	13 - 23	15	17	21	18	21	20
480	12 - 22	15	16	19	15	19	17
484	11 - 20	14	15	15	14	16	15
491	2 - 4	2	3	3	2	3	2
493	14 - 20	15	17	18	18	18	17
494	3 - 5	4	5	4	4	5	4
495	16 - 33	22	24	30	25	33	28
496	14 - 30	15	22	38	34	33	35

Fonte: Quaggio et al, 2017