

# LEB0432 – Máquinas e Implementos Agrícolas

## Máquinas para aplicação de corretivos e fertilizantes



USP



ESALQ



ENGENHARIA DE  
BIOSISTEMAS  
USP - ESALQ

José P. Molin  
jpmolin@usp.br

# Objetivos

- Caracterizar os diferentes sistemas mecânicos de aplicação de fertilizantes e corretivos existentes no nosso meio
- Analisar as partes constituintes e o funcionamento das máquinas utilizadas, bem como a suas regulagens

# Introdução

## Mercado



Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola

CALCÁRIO AGRÍCOLA - BRASIL

CONSUMO APARENTE POR ESTADO - PERÍODO 1992/2021 (em 1.000 t)

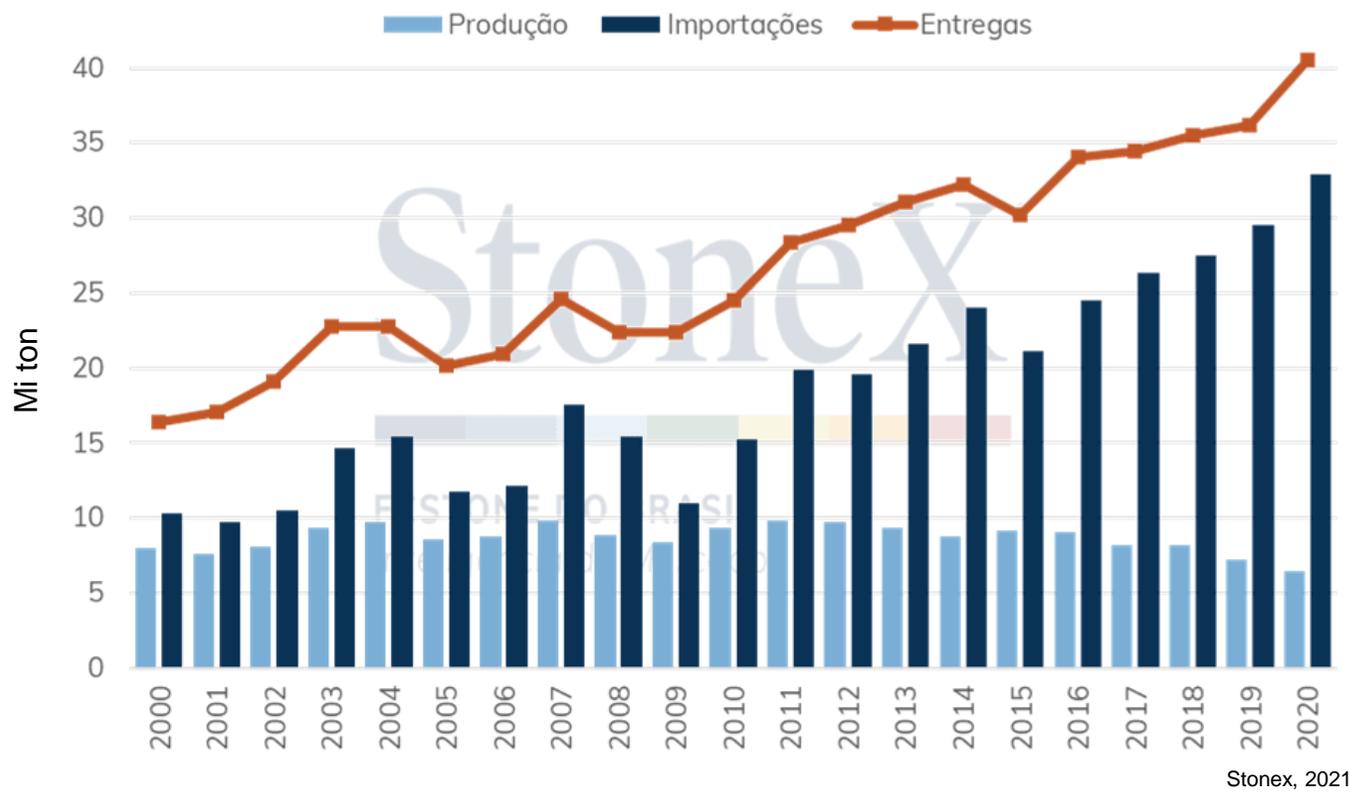
UF	RS	SC	PR	SP	MG	MS	MT	GO	TO	MA	ES	BA	AL	PE	Outros	Total
1992	2.818,0	950,0	2.073,0	3.430,0	1.800,0	520,0	1.426,0	1.762,0	151,0	173,0	ND	115,0	ND	ND	190,0	15.408,0
1993	3.696,0	734,0	2.812,0	3.611,0	2.300,0	1.076,0	2.228,0	1.940,0	550,0	140,0	120,0	270,0	65,0	90,0	27,0	19.659,0
1994	3.122,0	767,0	3.481,0	4.567,0	2.341,0	1.044,0	2.284,0	1.485,0	60,0	400,0	130,0	420,0	105,0	157,0	72,0	20.435,0
1995	1.392,0	806,6	1.852,0	3.362,0	1.769,6	390,0	773,7	1.180,0	30,0	180,0	131,2	148,1	60,0	60,0	127,0	12.262,2
1996	1.799,2	695,6	2.422,2	3.436,7	1.870,4	591,9	1.343,2	2.350,0	300,0	280,0	59,9	220,9	60,0	60,0	127,0	15.617,0
1997	2.319,1	926,1	2.906,9	3.724,3	1.958,0	899,8	1.253,8	1.844,2	80,0	220,0	112,8	488,7	87,0	60,0	178,7	17.059,4
1998	2.103,4	738,6	2.531,6	3.596,8	1.876,8	642,6	1.914,4	1.590,6	79,9	274,0	112,6	497,4	ND	40,2	137,0	16.135,9
1999	1.870,9	496,0	2.166,2	3.204,9	2.177,2	599,5	1.351,4	1.990,0	74,1	215,0	240,0	524,7	117,2	56,0	221,3	15.304,4
2000	2.004,3	596,0	2.284,7	3.323,1	2.986,7	813,6	3.099,8	2.550,0	136,0	380,0	411,9	748,3	80,0	92,0	305,8	19.812,2
2001	2.267,9	592,8	2.773,8	3.135,7	2.343,8	897,0	3.196,7	1.543,1	25,9	400,0	82,1	466,0	32,8	50,0	270,0	18.077,6
2002	2.267,3	1.100,0	2.600,0	3.199,6	2.778,1	1.083,0	4.463,5	3.000,0	350,0	350,0	161,9	435,0	70,0	90,0	338,0	22.286,4
2003	2.823,2	725,2	3.797,8	3.843,0	2.921,5	1.593,4	5.433,4	3.036,4	331,0	500,0	229,0	477,0	100,0	132,0	520,0	26.462,9
2004	2.273,1	958,0	3.431,0	3.015,9	2.374,5	1.620,0	7.056,5	3.000,0	800,0	500,0	159,7	606,0	97,6	90,0	337,5	26.319,8
2005	863,2	600,0	1.732,1	3.353,9	2.257,9	896,7	2.927,0	1.948,2	537,0	85,0	147,5	268,4	ND	160,0	1.210,4	16.987,3
2006	1.096,8	529,5	1.637,8	4.101,3	3.336,7	690,0	1.693,2	1.625,0	396,0	200,0	ND	295,0	20,0	160,0	1.068,5	16.849,8
2007	1.561,0	625,5	2.548,6	4.237,9	2.964,4	1.452,6	3.325,3	2.063,0	373,5	234,6	196,6	633,4	73,8	114,9	1.755,6	22.160,7
2008	1.963,0	903,0	2.515,0	3.322,0	3.021,0	1.931,0	3.858,0	2.908,0	489,0	ND	200,0	791,0	ND	ND	2.072,0	23.972,0
2009	1.876,8	348,0	2.948,8	2.621,9	1.966,2	1.777,8	3.362,1	1.577,9	469,8	ND	236,8	988,4	ND	ND	904,1	19.078,6
2010	1.779,6	610,1	2.836,9	3.377,8	3.711,6	1.700,9	3.800,0	2.352,7	390,0	340,0	167,0	885,5	ND	ND	1.738,0	23.690,1
2011	2.435,9	913,6	2.632,0	3.995,6	4.306,7	1.856,5	5.332,6	3.015,6	600,4	ND	190,6	872,5	ND	ND	3.200,9	29.352,9
2012	2.632,8	1.147,1	3.826,9	4.241,1	4.545,3	2.971,4	6.392,5	2.792,5	1.100,0	ND	238,1	ND	ND	ND	4.118,3	33.943,0
2013	3.251,2	869,6	3.535,7	3.691,0	4.195,3	2.885,3	6.683,6	2.624,9	1.407,8	583,4	ND	854,1	ND	ND	2.889,1	33.471,0
2014	3.095,0	831,5	3.949,5	3.763,2	4.581,7	3.025,7	6.818,3	2.649,5	1.294,7	504,6	317,0	965,4	75,5	63,7	3.442,4	35.377,7
2015	2.985,0	651,8	4.444,0	3.348,6	4.075,3	2.778,6	5.952,7	2.323,7	1.182,5	405,7	284,2	911,2	74,6	76,2	1.147,8	30.641,9
2016	3.199,0	685,2	3.437,2	4.312,3	4.821,7	3.174,2	5.329,3	2.959,6	1.373,6	368,1	364,1	1.070,7	159,8	68,3	1.915,6	33.238,9
2017	3.145,3	738,0	3.328,8	4.417,4	4.385,2	3.635,3	8.048,0	3.253,3	2.017,2	376,3	329,0	965,9	121,6	102,7	2.047,0	36.911,0
2018	3.648,8	665,5	3.820,2	4.960,6	5.076,9	3.371,5	9.977,5	4.232,2	2.239,8	797,5	192,6	1.050,9	121,6	105,0	2.649,3	42.909,9
2019	3.628,0	718,7	4.092,2	5.310,9	4.884,9	3.599,1	9.404,3	4.647,7	2.770,2	986,6	299,5	986,6	169,0	171,6	1.626,9	43.296,2
2020	3.258,5	769,9	4.301,3	4.536,0	5.387,6	4.117,9	9.518,9	4.708,7	2.325,8	1.360,9	670,0	1.250,8	538,4	546,3	2.008,7	45.299,7
2021	4.795,2	983,7	6.073,5	5.359,1	6.000,3	4.766,6	10.945,8	5.591,8	2.558,4	1.583,1	823,1	1.376,1	678,3	687,0	2.295,7	54.517,7

Fonte: ABRACAL - RC, 12/04/2022.

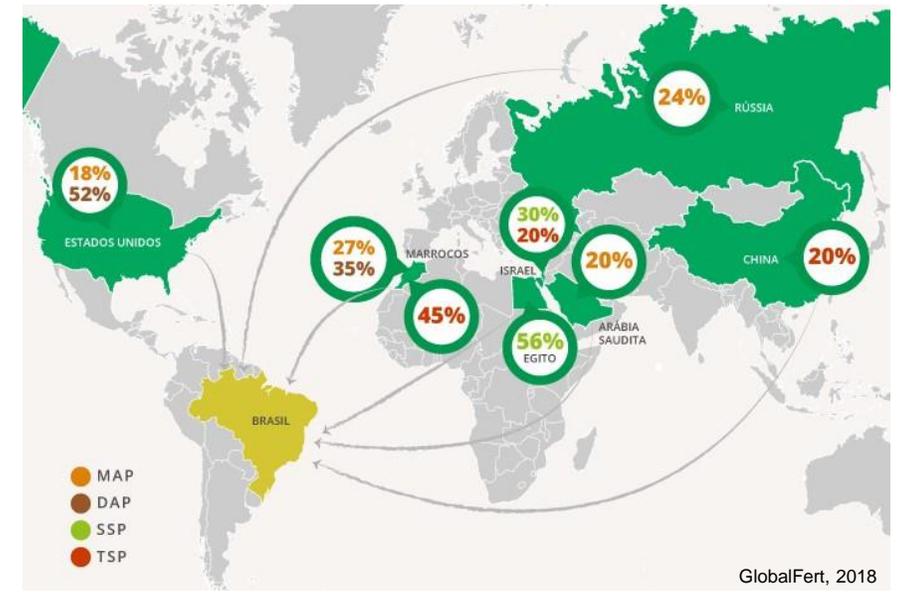
2017	3.145,3	738,0	3.328,8	4.417,4	4.385,2	3.635,3	8.048,0	3.253,3	2.017,2	376,3	329,0	965,9	121,6	102,7	2.047,0	36.911,0
2018	3.648,8	665,5	3.820,2	4.960,6	5.076,9	3.371,5	9.977,5	4.232,2	2.239,8	797,5	192,6	1.050,9	121,6	105,0	2.649,3	42.909,9
2019	3.628,0	718,7	4.092,2	5.310,9	4.884,9	3.599,1	9.404,3	4.647,7	2.770,2	986,6	299,5	986,6	169,0	171,6	1.626,9	43.296,2
2020	3.258,5	769,9	4.301,3	4.536,0	5.387,6	4.117,9	9.518,9	4.708,7	2.325,8	1.360,9	670,0	1.250,8	538,4	546,3	2.008,7	45.299,7
2021	4.795,2	983,7	6.073,5	5.359,1	6.000,3	4.766,6	10.945,8	5.591,8	2.558,4	1.583,1	823,1	1.376,1	678,3	687,0	2.295,7	54.517,7

Fonte: ABRACAL - RC, 12/04/2022.

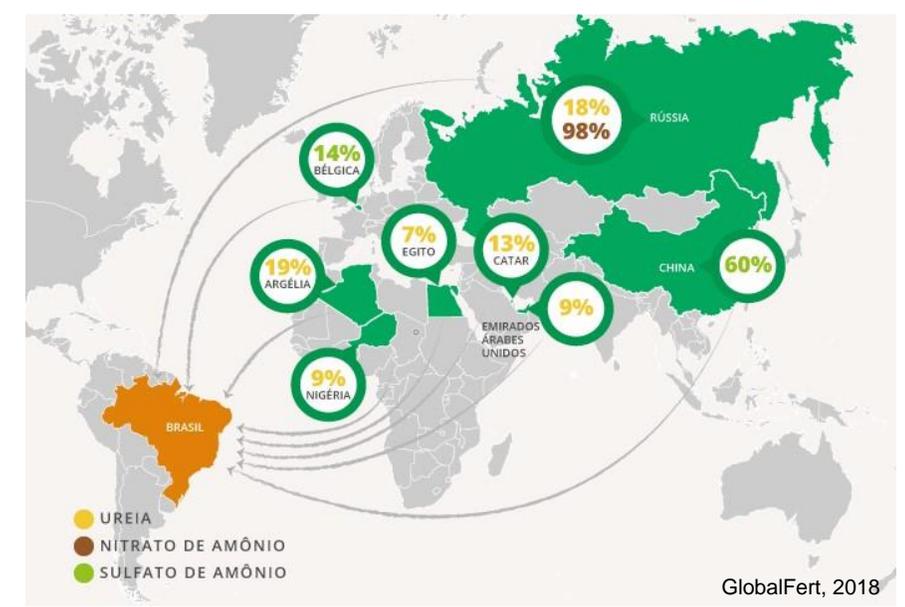
# Fertilizantes



P & K



N



# Introdução

## Tipos de fertilizantes e corretivos

- Químicos

  - Sólidos (pós e granulados)

  - Líquidos

  - Gasosos

- Orgânicos

  - Sólidos

  - Pastosos

  - Líquidos

- Corretivos

  - Sólidos

# Introdução

Olhando para a máquina:

Mecanismo dosador

– define a vazão de produto

Mecanismo distribuidor

– define a forma e a largura da deposição

# Mecanismos dosadores

## Gravitacionais

- orifício de abertura regulável e agitador

## Volumétricos

- esteira e comporta
- rosca transportadora
- rodas denteadas

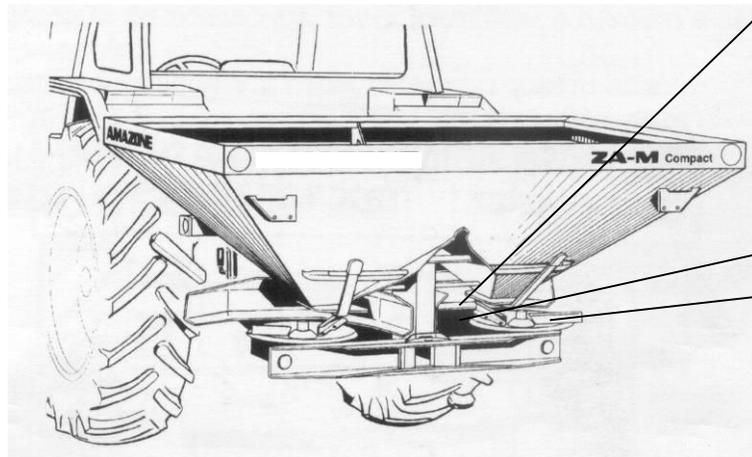
# Mecanismos dosadores

## Gravitacionais

- orifício de abertura regulável e agitador

## Volumétricos

- Esteira e comporta
- rosca transportadora
- rodas denteada



agitador

abertura  
regulável



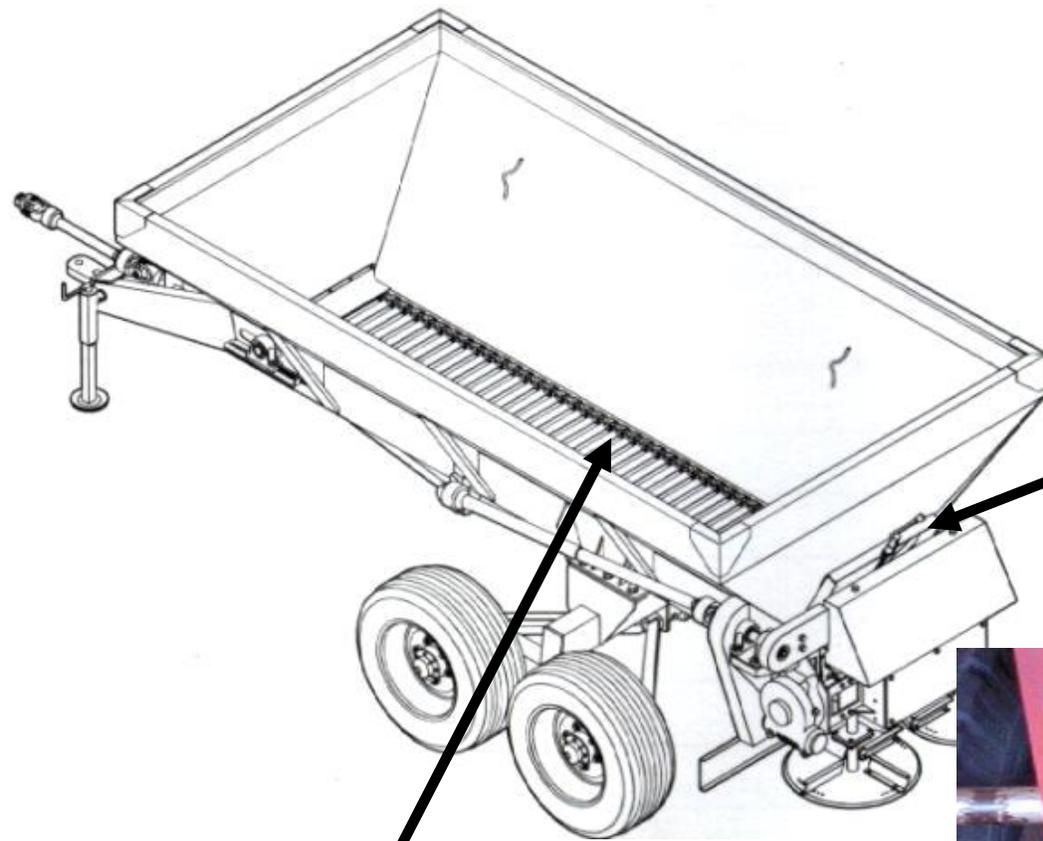
# Mecanismos dosadores

## Gravitacionais

- orifício de abertura regulável e agitador

## Volumétricos

- esteira e comporta
- rosca transportadora
- rodas denteada

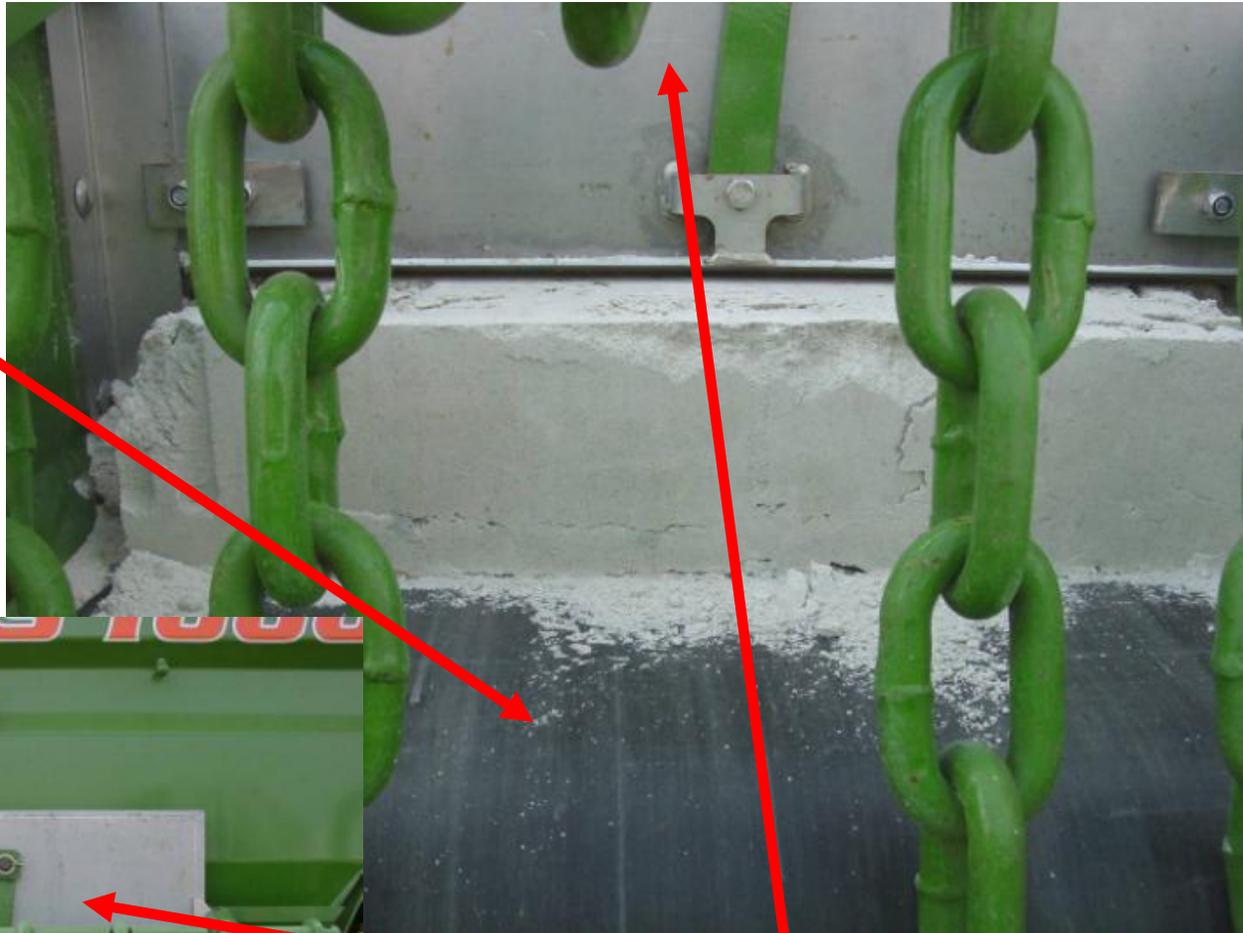


comporta

Esteira transportadora



esteira



comporta

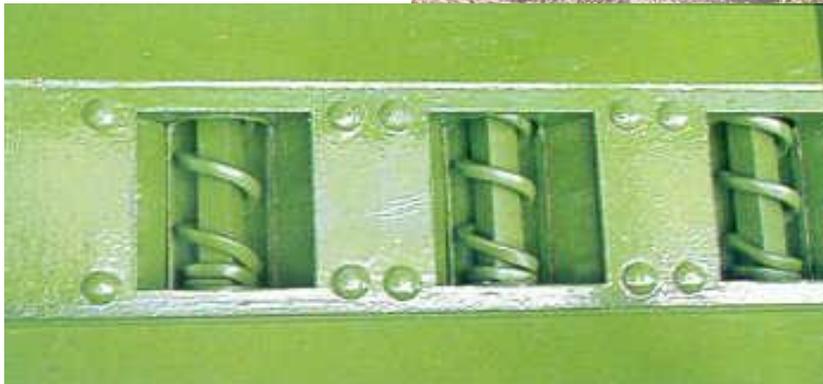
# Mecanismos dosadores

## Gravitacionais

- orifício de abertura regulável e agitador

## Volumétricos

- esteira e comporta
- **rosca transportadora**
- rodas denteada





Sistema com dispositivo para minimizar a intermitência causada pela rosca

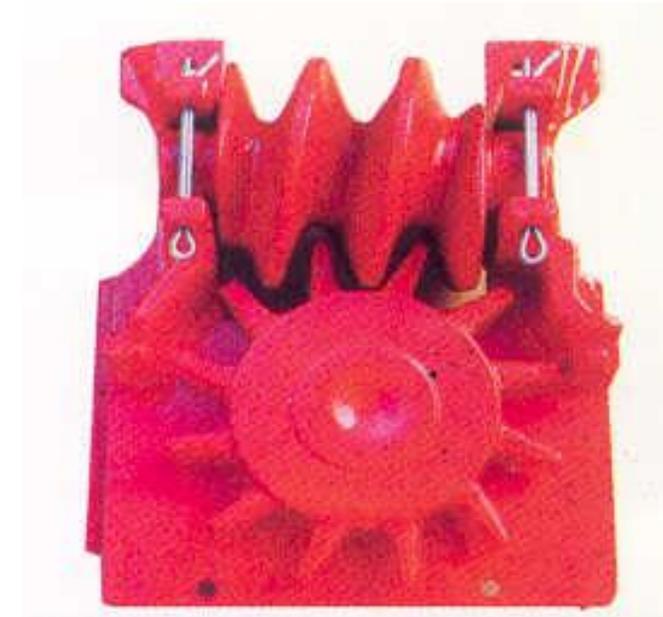
# Mecanismos dosadores

## Gravitacionais

- orifício de abertura regulável e agitador

## Volumétricos

- esteira e comporta
- rosca transportadora
- rodas denteada



# Mecanismos distribuidores

- Queda livre
- Centrífugo
- Pendular
- Pneumático

# Mecanismos distribuidores

- Queda livre

- Centrífugo

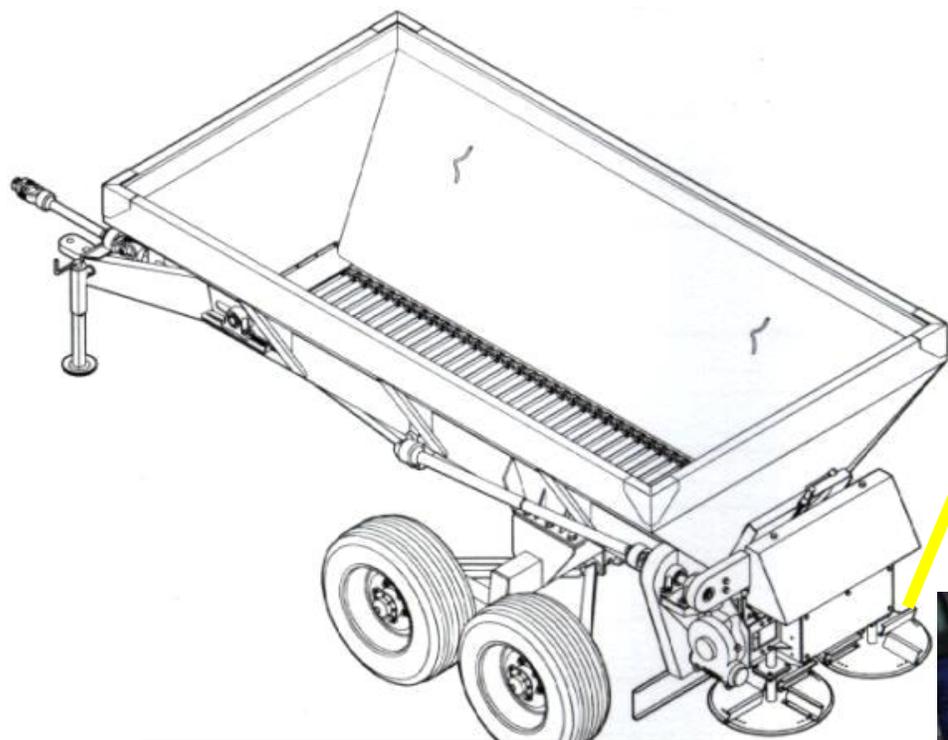
- Pendular

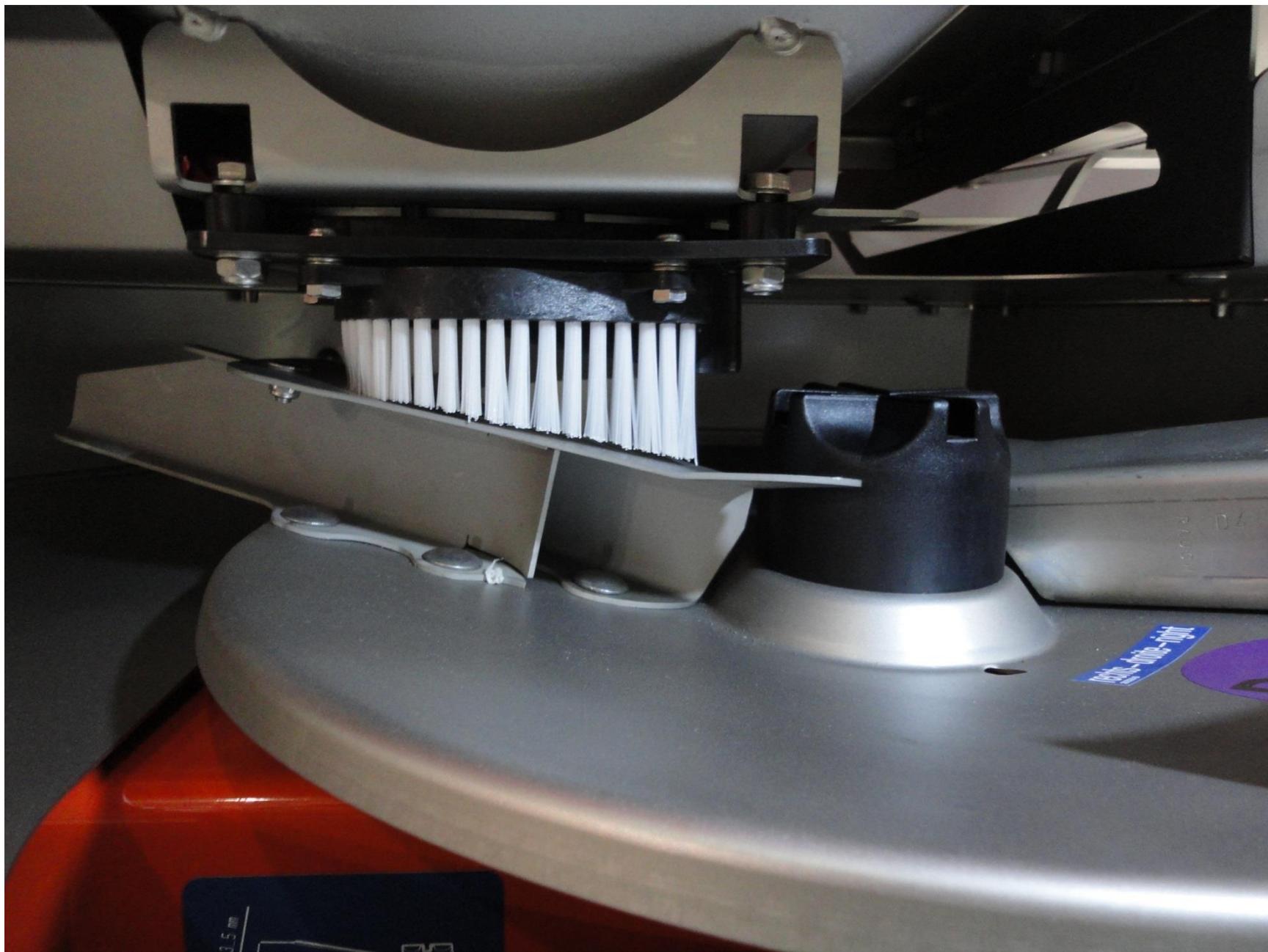
- Pneumático



# Mecanismos distribuidores

- Queda livre
- **Centrífugo**
- Pendular
- Pneumático





A força centrífuga espalha as partículas de forma ordenada, bastando uma boa regulagem para a sobreposição entre passadas



Calcário úmido



# Mecanismos distribuidores

- Queda livre
- Centrífugo
- **Pendular**
- Pneumático



# Mecanismos distribuidores

- Queda livre
- Centrífugo
- Pendular
- **Pneumático**



# Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
  - montados
  - de arrasto
  - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- Máquinas especiais
  - avião agrícola
  - conjuntos de irrigação

# Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
  - montados
    - de arrasto
    - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- Máquinas especiais
  - avião agrícola
  - conjuntos de irrigação

# Mecanismo dosador gravitacional e distribuidor centrífugo





Mecanismo dosador gravitacional e distribuidor pendular

Mecanismo dosador volumétrico de duas esteiras independentes e distribuidor centrífugo



# Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
  - montados
  - de arrasto
  - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- Máquinas especiais
  - avião agrícola
  - conjuntos de irrigação

# Mecanismo dosador volumétrico e mecanismo distribuidor centrífugo



Rodado em tandem



Mecanismo dosador de abertura regulável e agitador, com mecanismo distribuidor centrífugo



# Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
  - montados
  - de arrasto
  - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- Máquinas especiais
  - avião agrícola
  - conjuntos de irrigação

# Mecanismo dosador volumétrico e distribuidor centrífugo



# Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
  - montados
  - de arrasto
  - autopropelidos
- **Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas**
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- Máquinas especiais
  - avião agrícola
  - conjuntos de irrigação



Mecanismo dosador de abertura regulável e agitador, com mecanismo distribuidor de queda livre

# Mecanismo dosador volumétrico e distribuidor de queda livre





Mecanismo dosador volumétrico e distribuidor centrífugo, com duto direcional



# Mecanismo dosador volumétrico e distribuidor pneumático





# Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
  - montados
  - de arrasto
  - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- **Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais**
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- Máquinas especiais
  - avião agrícola
  - conjuntos de irrigação

adubadora

semeadora

Mecanismo dosador volumétrico helicoidal e distribuidor de queda livre com tubo condutor



# Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
  - montados
  - de arrasto
  - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- **Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos**
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- Máquinas especiais
  - avião agrícola
  - conjuntos de irrigação





# Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
  - montados
  - de arrasto
  - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos**
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- Máquinas especiais
  - avião agrícola
  - conjuntos de irrigação



# Compostagem



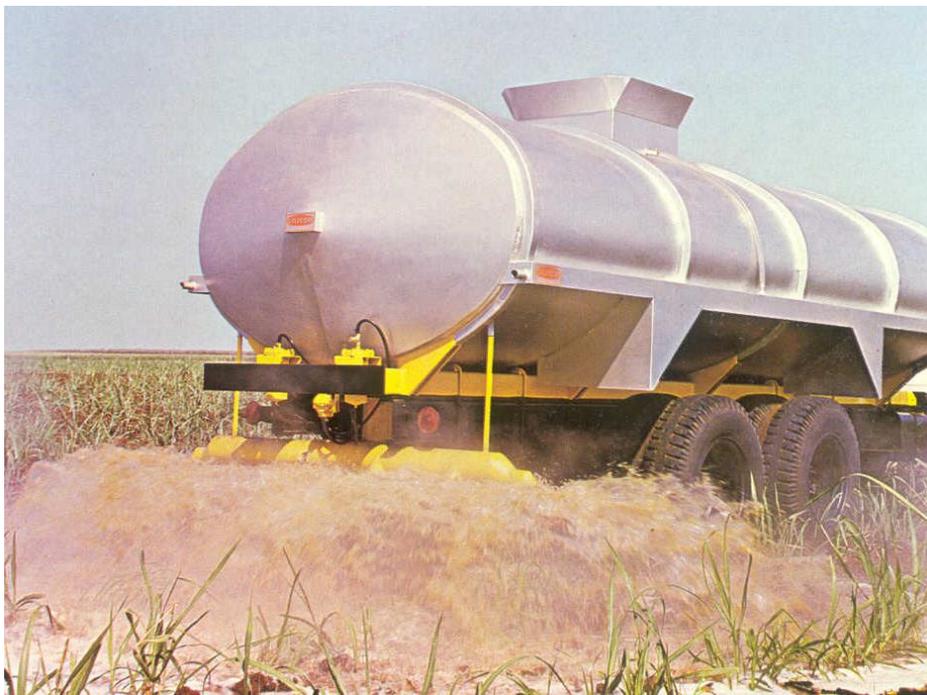


# Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
  - montados
  - de arrasto
  - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos**
- Máquinas especiais
  - avião agrícola
  - conjuntos de irrigação









# Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
  - montados
  - de arrasto
  - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- **Máquinas especiais**
  - **conjuntos de irrigação**
  - avião agrícola



# Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
  - montados
  - de arrasto
  - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- Máquinas especiais**
  - conjuntos de irrigação
  - avião agrícola**



## Difusores para sólidos

SCHRÖDER & ECHENIQUE (n/d)

# Regulagens

$$D = Q / (L \cdot v)$$

$$D = Q / (L \cdot v) \cdot 10000$$

D - dose

Q - vazão

L - largura efetiva

v - velocidade

# Regulagens

$$D = Q / (L \cdot v)$$

D - dose

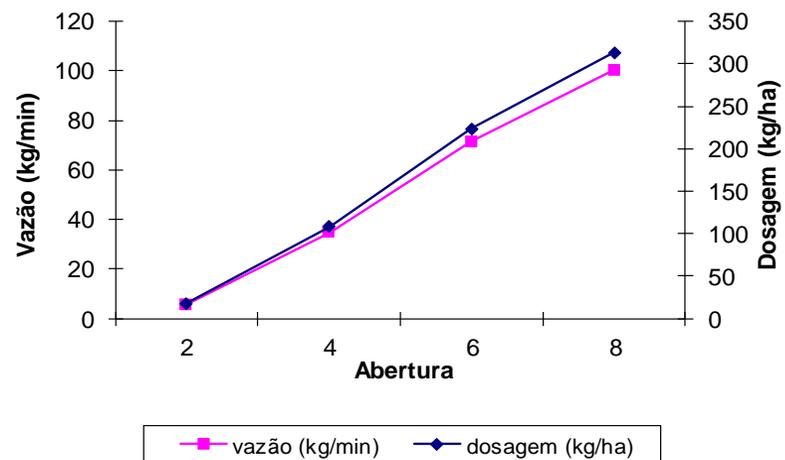
Q - vazão

L - largura efetiva

v - velocidade

Como definir a vazão?

## Pesagem de material coletado ao longo de uma amostragem – 30 a 60 s



## Pesagem de material coletado ao longo de uma distância conhecida (com lona)





# EXEMPLO 1

Aplicação a lanço

Dose de 180 kg/ha de uréia

Largura efetiva de 8,0 m

Velocidade de 9,0 km/h (2,5 m/s)

Como regular a máquina - quanto produto coletar em 30s?

$$D = (Q/v \cdot I) / 10000$$

$$Q = (D \cdot v \cdot I) / 10000$$

$$Q = (180 \cdot 2,5 \cdot 8,0) / 10000$$

$$Q = 0,36 \text{ kg/s} \times 30\text{s}$$

$$Q = 10,8 \text{ kg}$$

## EXEMPLO 2

Aplicação de calcário a lanço

Dose de 3000 kg/ha

Em 30s – 130 kg de calcário (4,33 kg/s)

Largura efetiva de 6,0m

Qual a velocidade de operação?

$$D = (Q/v \cdot l) 10000$$

$$v = (Q / D \cdot l) 10000$$

$$v = (4,33 / 3000 \cdot 6,0) 10000$$

$$v = 2,41\text{m/s} = 8,7\text{km/h}$$

## EXEMPLO 3

Adubação de soqueira de cana-de açúcar  
1,4 m entre linhas

Velocidade de 8,0 km/h (2,22 m/s)

Dose de 240 kg/ha de NPK

Qual a vazão do mecanismo dosador de cada linha?

$$D = (Q/v \cdot I) 10000$$

$$Q = (D \cdot I \cdot v) / 10000$$

$$Q = (240 \cdot 1,4 \cdot 2,22) / 10000$$

$$Q = 0,0799 \text{ kg/s} \times 30 \text{ s} = 2,40 \text{ kg}$$

# Regulagens

$$D = Q / (L \cdot v)$$

D - dose

Q - vazão

L - largura efetiva

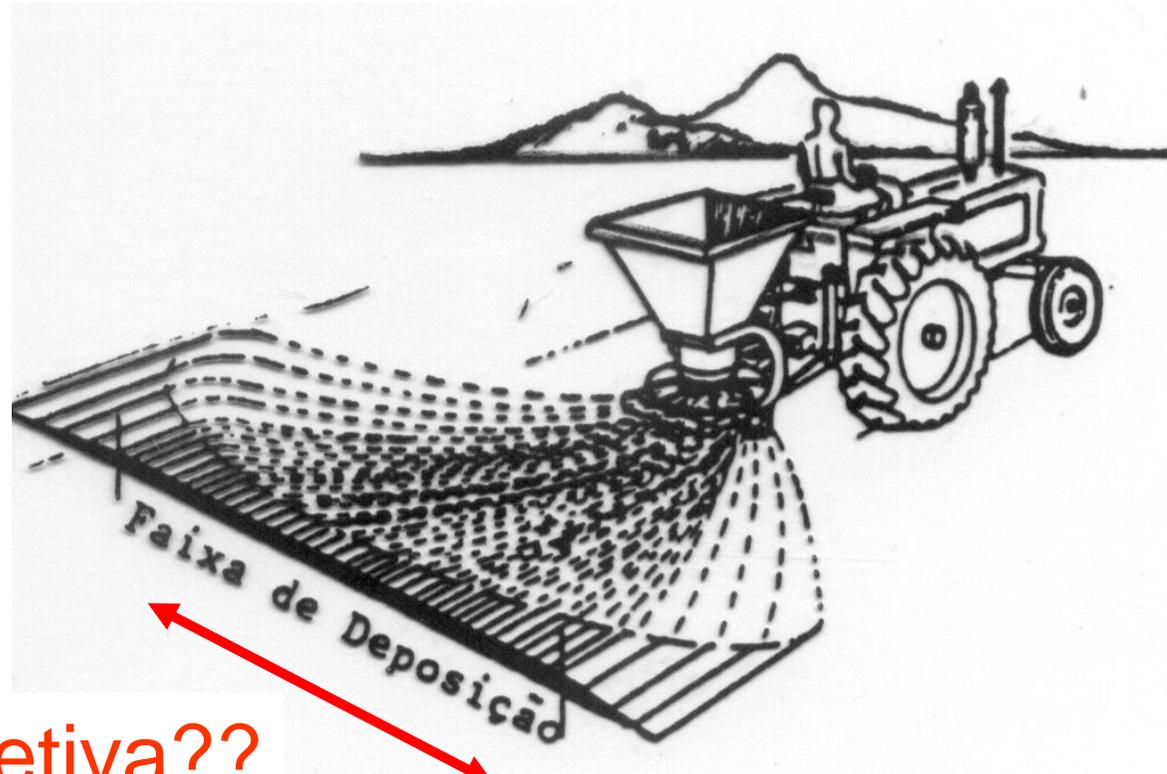
v - velocidade

Como definir a largura?

# Regulagens

Como definir a largura efetiva?





Largura efetiva??

Nitrogênio

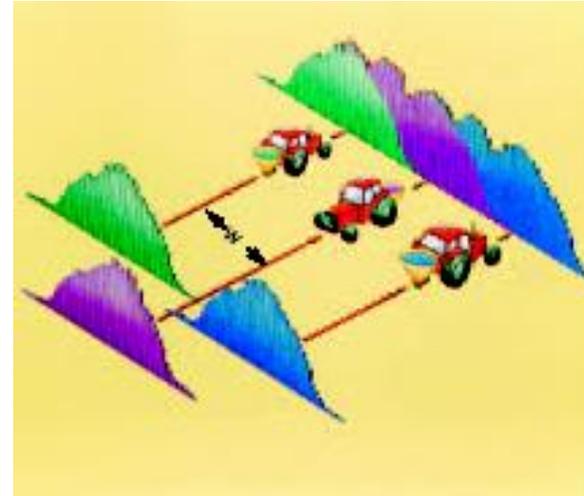


Potássio

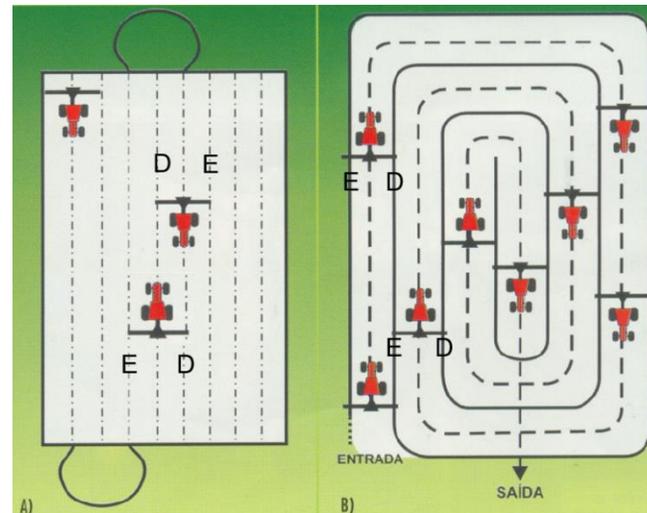
# Procedimento



Passando a máquina sobre coletores para registrar a deposição transversal

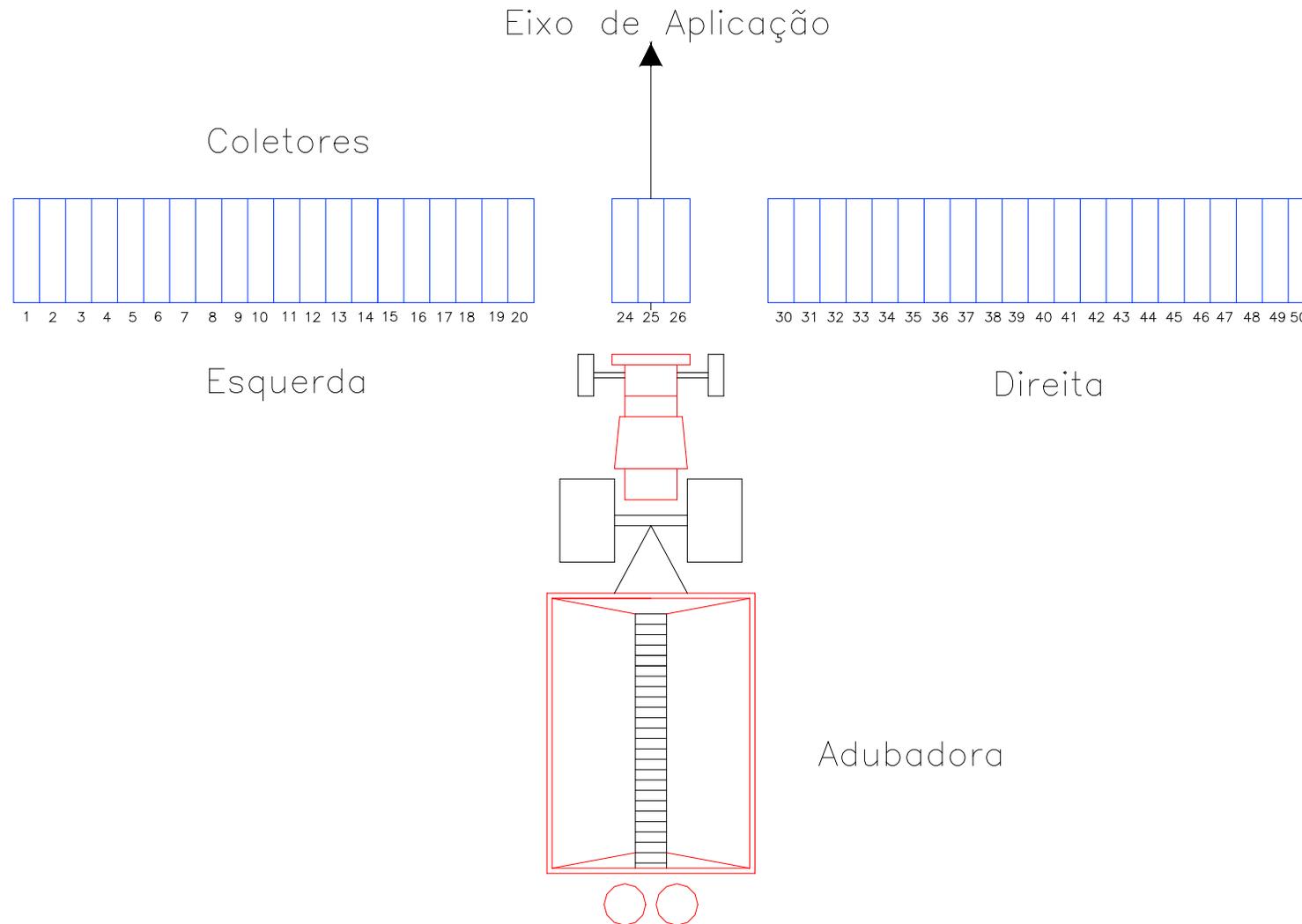


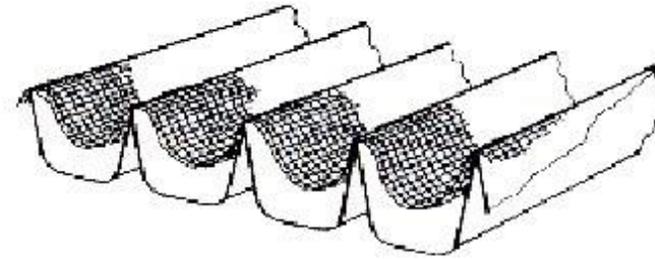
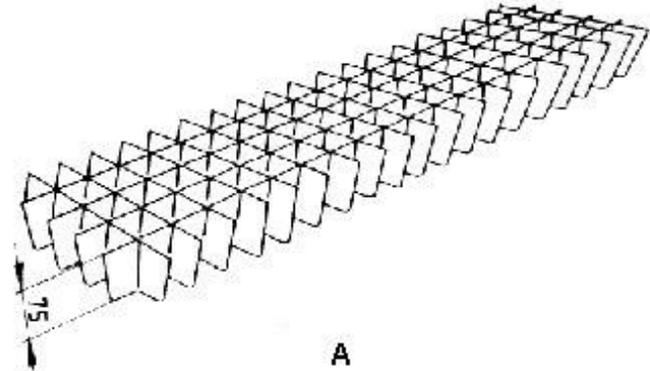
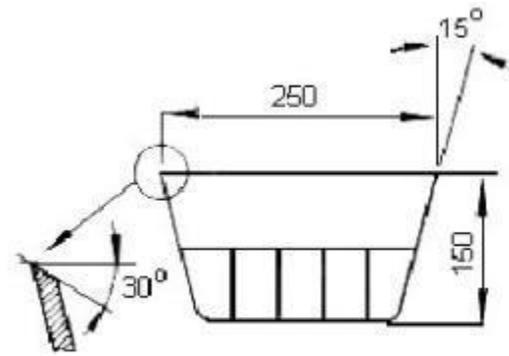
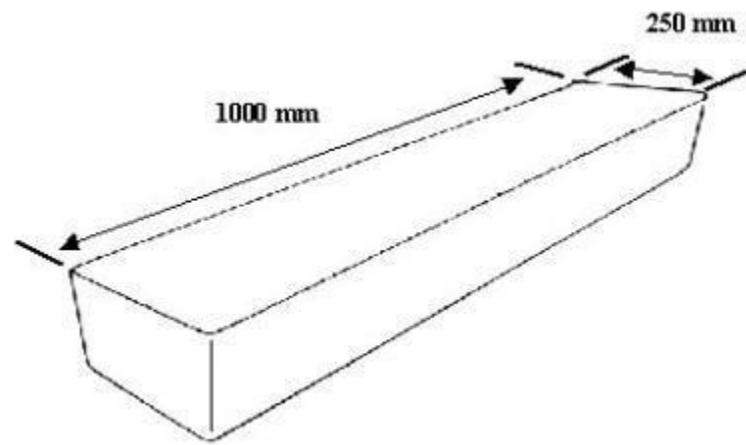
... a combinação das diferentes passadas vai produzir a deposição total



... o resultado depende do percurso adotado

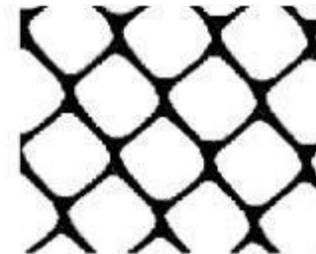
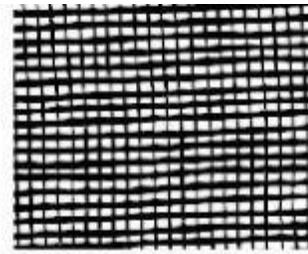
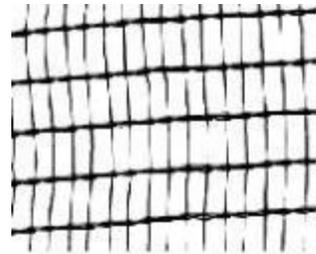
# Procedimento de campo





A

B



1: Sombrite 18%.

2: Sombrite 30%.

3: Malha 1/2"





# Repetições



Passadas  $\neq$  repetições

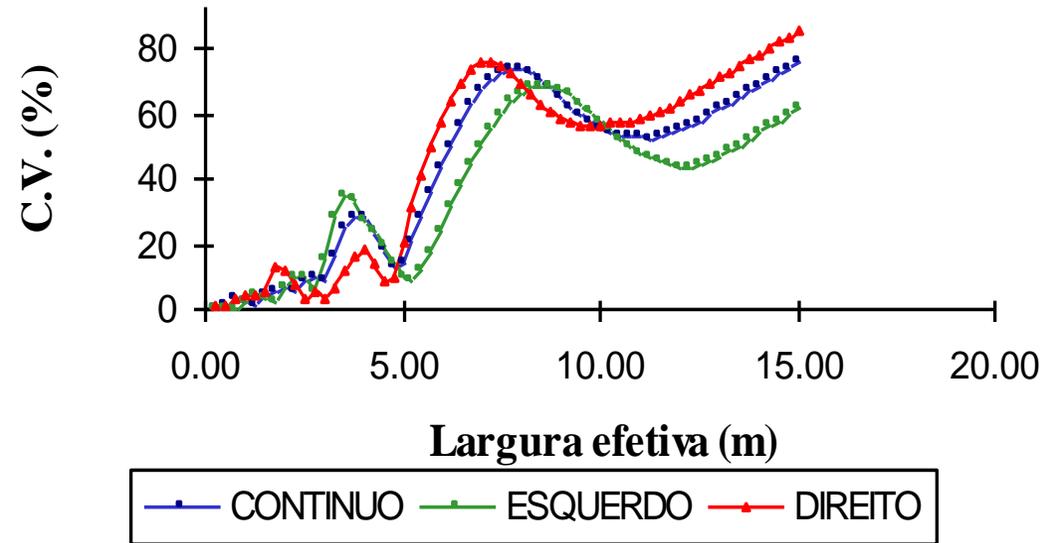
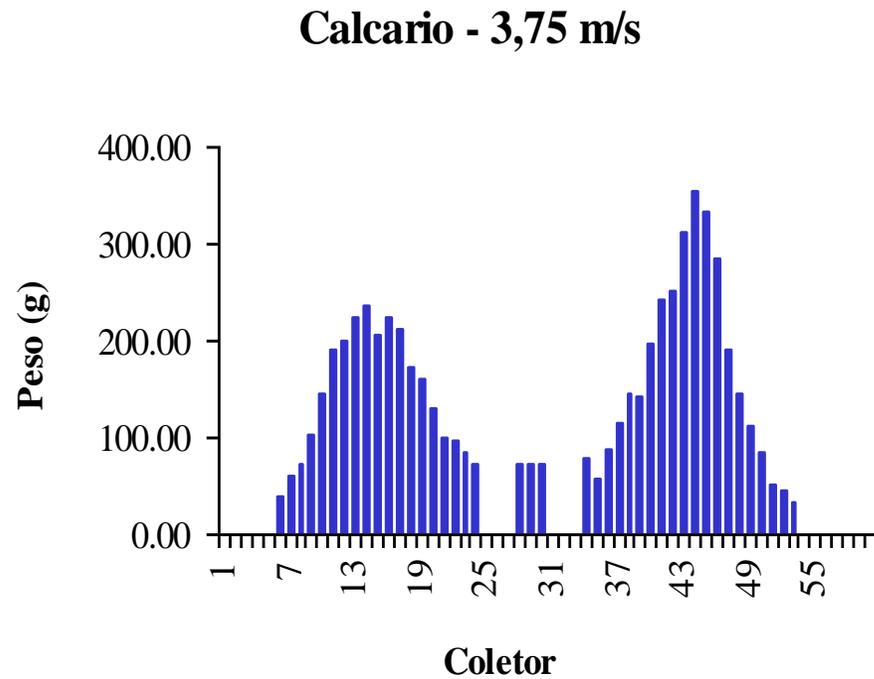




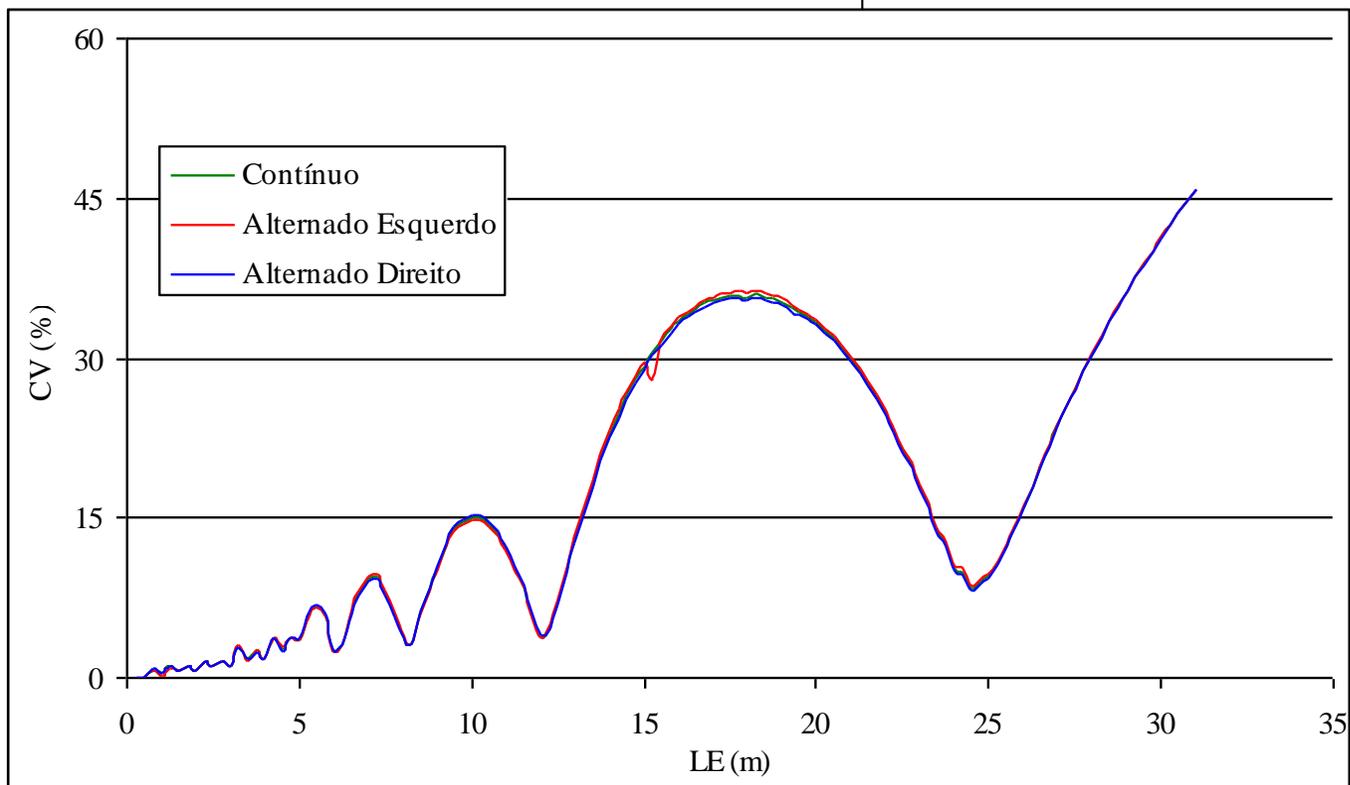
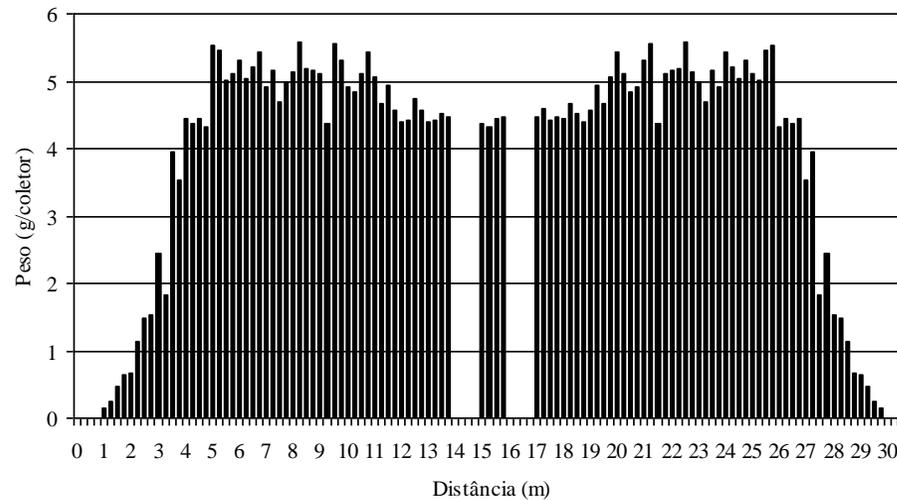


Obter o perfil da distribuição e simular as possíveis sobreposições

calcular o CV de cada uma, plotar o CV x largura efetiva e selecionar a largura efetiva



# 24 m e 250 kg/ha – R3



Software para isso:

<https://www.agriculturadeprecisao.org.br/software/>

## Adulção 3.1

Montagem do teste de campo  
Manual de uso passo-a-passo  
Análise de resultados



Coordenação:  
Prof. J.P. Molin

[www.agriculturadeprecisao.org.br](http://www.agriculturadeprecisao.org.br)

Colaboraram diretamente ao longo do desenvolvimento do Programa e deste Manual:

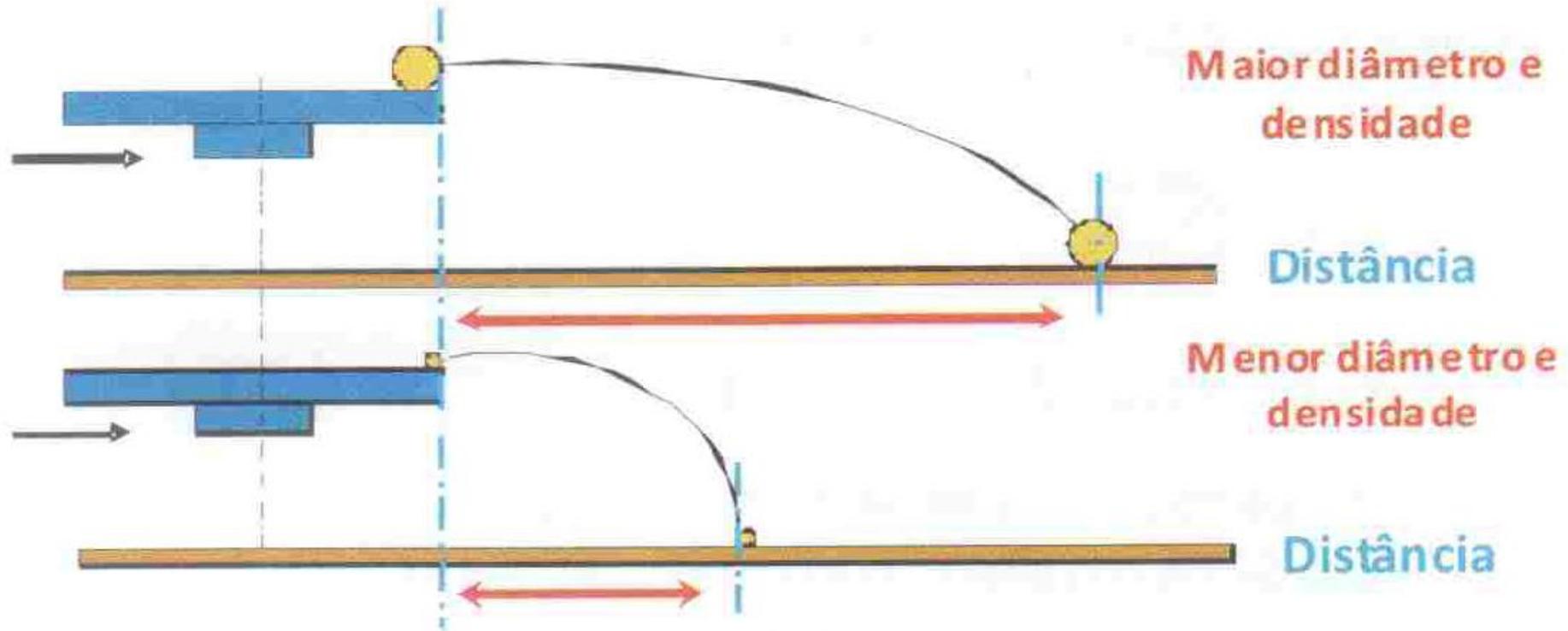
gMAP - Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão  
COELHO, J.L.D.  
GONÇALVES, A.O.  
MENEGATTI, L.A.A.  
ROZESTRATEN, H.  
SILVA, G.F.  
SOLLERO, G.C.  
SPEKKEN, M.  
VASARHELYI, A.

USP/ESALQ  
Piracicaba, SP, Fevereiro de 2015

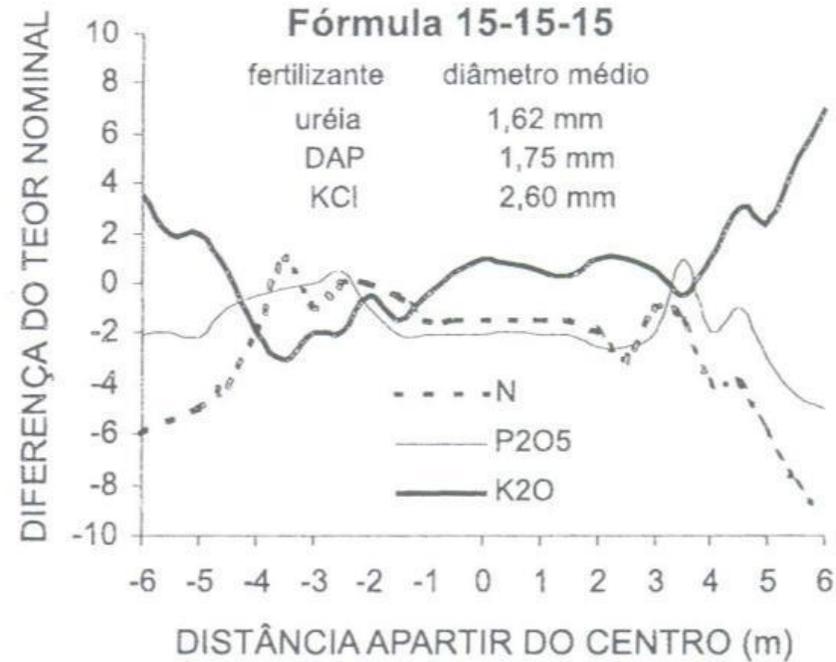


<http://www.amazone.co.uk/agricultural-products.asp?cid=6>

# Segregação de partículas



# Segregação de partículas

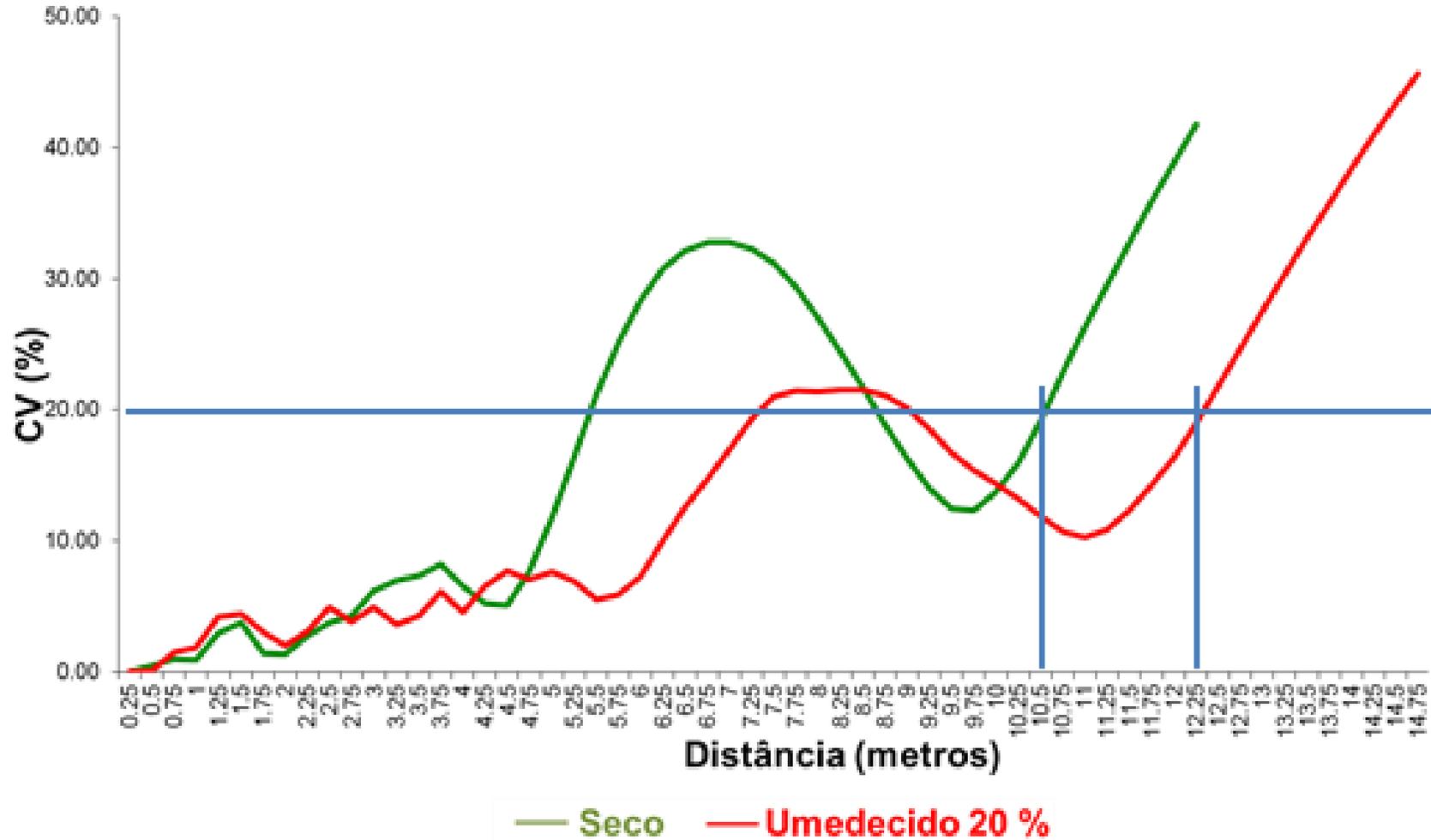


- 6 m	- 3,5m	0 m	+ 3,5m	+ 6m
9,0-13,0-18,4	16,6-15,1-12,1	13,6-12,8-16,2	13,7-16,0-14,6	6,2 - 9,9 - 22,1

Variação dos teores de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O de uma fórmula 15-15-15, aplicada por uma adubadora com distribuição centrífuga, em função da distância a partir do centro de aplicação

Adaptado de POPP e ULRICCH, 1985

# Adicionar água ao calcário?



Pereira et al.(2015)

Fim!