

## Aula 4 – Máquinas para aplicação de corretivos e fertilizantes

Prof. Jose Paulo Molin

As máquinas para aplicar (ou distribuir) fertilizantes e corretivos compõem uma diversidade muito grande de formatos, tipos e modelos. É resultado de uma combinação ampla de tipos de produtos em seus diferentes formatos físicos com diferentes tipos e estágios de culturas. Por conta disso, alguns componentes dessas máquinas se tornam mais importantes, como os mecanismos que dosam e os que efetivamente distribuem. Uma máquina que distribui esterco de curral é totalmente diferente de uma aplicadora auto propelida de ureia, mas na sua essência, ambas utilizam os mesmos princípios em seus mecanismos dosador e distribuidor. No entanto a adubadora associada à semeadora de grãos executa a mesma operação, mas com a deposição do insumo feita de forma bem diferente, por conta das características e consequente demanda das culturas em que é utilizada. Independente disso, todas seguem um mesmo princípio em termos de regulagens, pois todas devem aplicar uma dada quantidade de produto por unidade de área. Toda essa diversidade e o entendimento deste princípio são aqui abordados.

Os objetivos deste texto são:

- 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 sua regulagem.

### Os tipos de fertilizantes e corretivos e sua deposição

A agricultura brasileira é sabidamente fundamentada na utilização de corretivos, especialmente do calcário, demandado em grandes quantidades e com fontes distribuídas geograficamente no país. Também temos demanda sistemática de fertilizantes, na sua maior parte, importados.

A forma de aplicação de fertilizantes e corretivos é bastante variada, justamente pelas diferenças físicas que eles podem apresentar. Os produtos podem ser de origem química e podem estar em estado sólido, granulados ou em pó, líquido ou gasoso. Há também os fertilizantes de origem orgânica, que podem estar em estado sólido, pastoso ou líquido. Por último, os corretivos, normalmente sólidos e em pó.

São produtos com ampla variação granulométrica, teor de umidade, densidade, concentração, presença ou não de torrões e fibras e muito mais. No caso dos sólidos em geral, uma das características que mais influencia o formato da máquina é o ângulo de repouso natural do produto, especialmente no reservatório da máquina, mas também em pontos por onde o produto passará antes de chegar ao destino final, na lavoura.

Para essa diversidade de produtos deve corresponder uma diversidade também de máquinas capazes de aplicar cada um de forma otimizada. Sabidamente, os mais demandados são os pós e os granulados, tanto fertilizantes quanto corretivos de solo.

Outra característica importante que define o tipo de máquina é a forma de deposição dos produtos. Alguns são dispostos na superfície e outros precisam ser cobertos ou enterrados, o que caracteriza máquinas bem distintas. Mas essa forma de deposição também depende do tipo de cultura, seu arranjo no campo e seu ciclo de desenvolvimento e de demandas por esses insumos. Há culturas perenes, que demandam fertilizantes e corretivos na superfície, muitas delas, para não danificar o sistema radicular. Mas há culturas de ciclo curto que demandam fertilizantes na fase de implantação, para a germinação,

com doses limitadas para não causar danos à semente e plântula, especialmente de salinização concentrada. Com o desenvolvimento das plantas haverá nova demanda por nutrientes via fertilizantes e haverá situações que demandam esse insumo na superfície ou em sub superfície.

O arranjo das plantas também delimita o tipo de aplicação. Grande parte das culturas de ciclo curto são semeadas em fileiras. Se a aplicação é associada a essas fileiras, a máquina deverá dispor o produto em linhas paralelas às fileiras, com posicionamento (distância e profundidade) dependente das características da cultura e do seu estágio específico de desenvolvimento.

Isso tudo, somado a características climáticas, com boa parte das áreas brasileiras de produção agrícola, em clima tropical, de inverno seco e verão chuvoso, também interferem nas características das máquinas aplicadoras de fertilizantes e de corretivos de solo.

### Os mecanismos que caracterizam as máquinas aplicadoras

Com o olhar para a máquina, é importante se observar que todas terão muitos componentes, mas dois deles, de primeira importância, que são o mecanismo dosador, que define a vazão de produto e o mecanismo distribuidor, que define a forma e a largura da deposição. Os demais componentes que invariavelmente a máquina terá são reservatório, estrutura e acionamento; dependendo da sua configuração, poderá ter rodado, acoplamento e mesmo motorização e estrutura veicular.

Rotineiramente, será necessário definir uma dada dose de um dado produto a ser aplicado. Essa dose (D) é obtida a partir da vazão (Q) do mecanismo dosador, dividida pela largura (L) da faixa de aplicação, definida pelo mecanismo distribuidor e pela velocidade (v) de deslocamento.

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

Com as grandezas expressas em unidades do Sistema Internacional (SI), essa é a equação de regulação para qualquer máquina aplicadora de qualquer insumo, não apenas os fertilizantes e corretivos.

### Mecanismos dosadores

Existe uma grande variedade de forma e de apresentação dos mecanismos dosadores, mas que podem ser agrupados em gravitacionais e volumétricos. Nos primeiros, a vazão é definida a partir do fluxo natural ou forçado do produto por algum tipo de orifício. Já, nos volumétricos, o produto tem sua vazão estabelecida pela ação de algum dispositivo que transporta o insumo.

Os mecanismos dosadores gravitacionais ou gravimétricos são caracterizados por orifício de abertura regulável e são fortemente dependentes da condição física do produto para que este flua com estabilidade para que a vazão seja estabelecida e governada, o que somente é obtido com adubos granulados e secos. Mesmo assim, para que o produto flua sem o efeito de seu ângulo de repouso natural e da altura de produto no reservatório da máquina, esses dosadores são normalmente auxiliados por um dispositivo agitador do material, próximo ao orifício.

É evidente que um material granulado e seco flui com mais facilidade que outro, em pó e úmido. Assim, os mecanismos de orifício regulável não apresentam desempenho minimamente aceitável para a aplicação de calcário e gesso, mas desempenham bem com granulados em geral.

Nos mecanismos volumétricos o material passa forçado e por isso são mais apropriados para a grande maioria dos fertilizantes e corretivos sólidos e mesmo pastosos. Os mais comuns são as esteiras transportadoras conjugadas com comporta de altura regulável, as roscas transportadoras ou helicoidais, ou sem-fim; e já pouco usadas, as rodas denteadas, apenas em alguns modelos mais básicos de semeadoras adubadoras e adubadoras para cana-de-açúcar.

As esteiras transportadoras são especialmente adequadas para as máquinas de maior vazão de produto em especial, de pós. Com velocidade constante da esteira, a forma de aumentar ou diminuir a vazão é ajustando a altura da comporta, o que é comum nas máquinas mais simples, de regulação manual. A outra forma é ajustando a velocidade da esteira, ou a combinação das duas – altura da comporta e velocidade da esteira.

As roscas transportadoras ou helicoides são principalmente utilizadas em máquinas que depositam o insumo em linhas, justamente por serem limitadas em termos de vazão. Elas se caracterizam por gerar alguma pulsação no fluxo de material em função da rotação da rosca; recentemente surgiram no mercado soluções que minimizam esse problema.

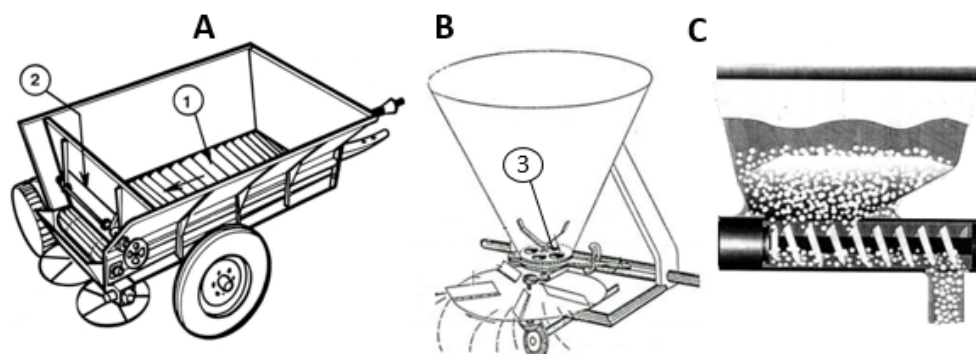


Figura 1 – Exemplos de mecanismos dosadores: volumétrico de esteira (1) e comporta (2) (A); gravitacional com orifício de abertura regulável (3) e agitador (B); volumétrico de rosca transportadora ou helicoidal (C) (fonte: DUARTE, C., 2019\*)

\*DUARTE, C. Redimensionamento de distribuidor pendular para grandes vazões de calcário. Dissertação, Universidade de São Paulo, 2018.

### Os mecanismos distribuidores

Os mecanismos de distribuição do produto podem ser sintetizados em queda livre, centrífugos, pendulares e pneumáticos. Em alguns modelos de máquinas, algumas simples e outras nem tanto, o produto sai do mecanismo dosador e cai diretamente sobre o alvo, no máximo passando por um direcionador ou condutor, tipo tubo ou calha, o que caracteriza a queda livre.

Os distribuidores centrífugos, os mais populares no Brasil, consistem de uma base circular (disco) e aletas radiais. O produto cai do mecanismo dosador sobre um ponto específico do disco, em giro, e é apanhado pela aleta que lhe imprime força centrífuga e arremessa as partículas, a lanço. Um disco produz um leque de distribuição assimétrico e por conta disso as máquinas hoje utilizam dois discos simétricos para atingir maiores larguras de distribuição.



Figura 2 – Mecanismo distribuidor centrífugo de dois discos, com aletas radiais

Trata-se de um mecanismo simples, porém com muita tecnologia embarcada, especialmente em alguns modelos de máquinas de origem europeia. Como o percurso (balística) das partículas é modelável, já há considerável automação para o controle da distribuição do produto. Do ponto de vista do mecanismo distribuidor, os parâmetros que influenciam a balística da partícula estão associados ao disco e aletas. São eles: rotação do disco, comprimento da aletas (raio da circunferência do arremesso), ângulo radial das aletas (intensidade do arraste das partículas ao longo da aleta), ponto de queda do material sobre o disco (ponto de captura do material pela aleta), ângulo de concavidade do disco (rampa de arremesso), número de aletas (fatiamento do fluxo de material que cai sobre o disco) e altura do disco em relação ao chão (ponto de partida da partícula). As combinações entre estes permitem otimização e mesmo automação nas máquinas para a obtenção do máximo alcance e a melhor distribuição das partículas ao longo do arremesso, o que resulta nas máximas larguras efetivas.

Mas uma premissa básica é a massa das partículas. Produtos em pó, como o calcário, apresentam partículas muito pequenas, com massa individual desprezível, não sendo possível imprimir-lhes energia cinética suficiente, conseqüentemente o alcance de arremesso é muito limitado. Outra particularidade muito importante desses mecanismos distribuidores é o efeito da densidade das partículas, que em adubos com mistura de grãos de diferentes fontes de nutrientes, causará balísticas distintas. A consequência é a possível segregação da mistura ao longo da largura de deposição.

Outro mecanismo que imprime energia cinética às partículas é o pendular, que consiste de um tubo que realiza movimentos oscilatórios no plano horizontal, na parte traseira da máquina, distribuindo o material a lanço. É um mecanismo que não evoluiu e equipa apenas máquinas de pequeno porte, com bom desempenho na uniformidade de distribuição transversal, porém com alcance e conseqüente largura limitados.

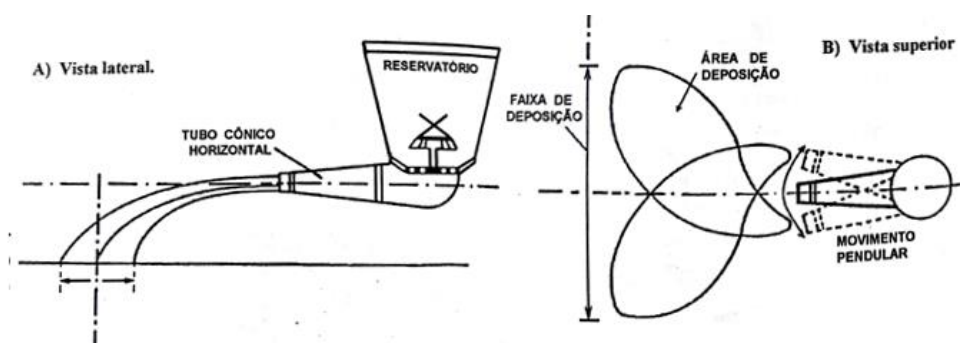


Figura 3 – Princípio de funcionamento do distribuidor pendular (fonte: DUARTE, C., 2019\*)

\*DUARTE, C. Redimensionamento de distribuidor pendular para grandes vazões de calcário. Dissertação, Universidade de São Paulo, 2018.

Os mecanismos distribuidores pneumáticos são mais recentes no mercado, constituídos de tubos que conduzem os grânulos por arrasto via corrente de ar até o ponto de queda ou de arremesso. Se caracterizam por equipar máquinas com largura efetiva de distribuição definida e com boa uniformidade na distribuição e não são compatíveis com o transporte de pós, especialmente úmidos.

## Os tipos de máquinas

As máquinas aplicadoras ou distribuidoras de fertilizantes e corretivos podem ser classificadas por diferentes critérios e pontos de vista. De forma prática e vinculando a elas a fonte de potência, os produtos que aplicam, os mecanismos mais importantes – dosador e distribuidor, as diferentes composições geram os nomes mais adequados. Assim, tem-se os aplicadores de fertilizantes e

corretivos a lanço, que pressupõem a sobreposição entre passadas para atingir a dose desejada com um mínimo de uniformidade na distribuição transversal. Podem ser montados no engate de três pontos do trator; de arrasto, acoplados à barra de tração do trator; ou auto propelidos, com estrutura veicular própria. Utilizam mecanismo dosador gravitacional nas máquinas menores e predominam os volumétricos nas maiores. Os distribuidores são os centrífugos e pendulares.

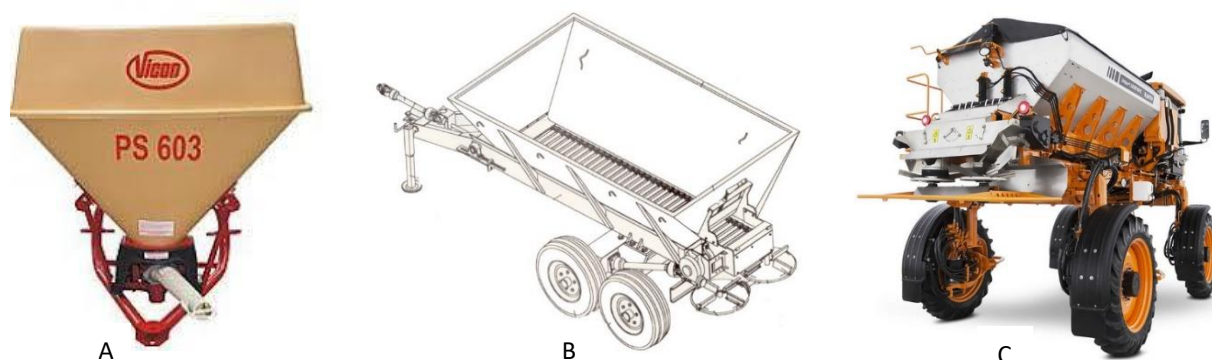


Figura 4 – Aplicador de fertilizantes e corretivos montado, a lanço, com mecanismo dosador de orifício regulável e distribuidor pendular (A); de arrasto, com mecanismo dosador de esteira e comporta e distribuidor centrífugo (B); auto propelido, com mecanismo dosador de esteira e comporta e distribuidor centrífugo (C) (fonte: manuais dos fabricantes)

Uma variação destes são os aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas, onde não há sobreposição entre passadas. Estes utilizam predominantemente mecanismo dosador volumétrico e distribuidores centrífugos com direcionadores em culturas perenes ou de queda livre e em área total nas lavouras e pastagens.

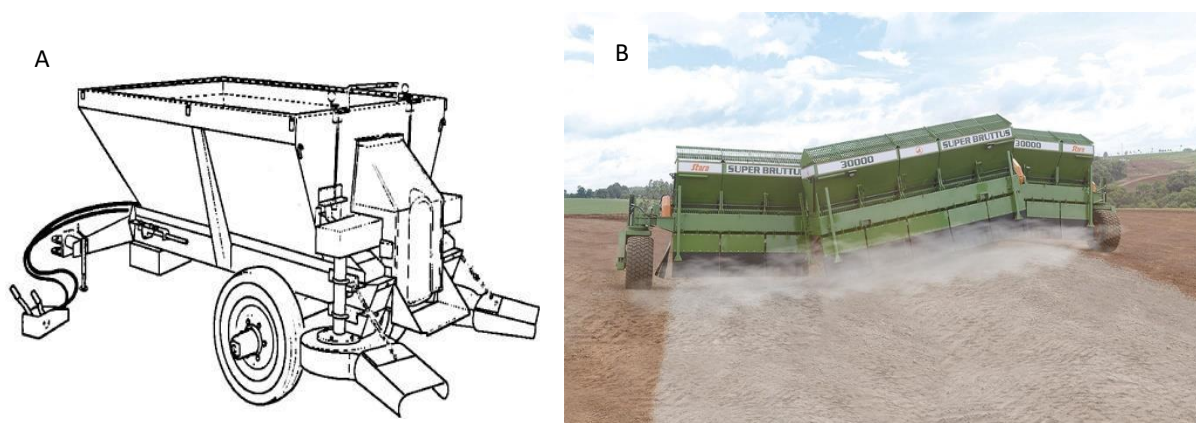


Figura 5 – Aplicador de fertilizantes e corretivos de arrasto, em faixas, com mecanismo dosador de esteiras e comportas e distribuidores centrífugos com direcionadores, para culturas perenes (A); de arrasto, com mecanismo dosador de esteiras e comportas e distribuidor de queda livre (B) (fonte: manuais dos fabricantes)

Outro grupo é formado pelos aplicadores de fertilizantes de linhas individuais. Neste, há uma gama de máquinas, comumente associadas a outras, como semeadora, plantadora, capinadora, sulcador, subsolador e outras. Se caracterizam por utilizar mecanismos dosadores helicoidais e depositar o produto em linhas sobre o solo ou dentro de um sulco.



Figura 6 – Aplicador de fertilizantes associado à semeadora de grãos graúdos, de arrasto, com mecanismo dosador helicoidal e deposição em linha (A); associado ao cultivador de cana, montado, com mecanismo dosador helicoidal e deposição em linha (B); associado ao sulcador, montado, com mecanismo dosador helicoidal e deposição em linha (C)

Grupos menos comuns são os injetores de fertilizantes líquidos e gasosos, com demanda regionalizada e localizada em torno das unidades produtoras de fertilizantes líquidos, não muito comuns no Brasil; os distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos, especialmente para distribuição de restos de culturas e esterco, bovino, suíno e de aves; distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos para a aplicação de vinhaça e de esterco líquido.

Por último, há outras formas de aplicação de fertilizantes como o avião agrícola equipado com um difusor para sólidos, frequentemente utilizado na aplicação de adubação nitrogenada em cobertura para culturas como arroz irrigado e cana-de-açúcar e os conjuntos de irrigação equipados com injetores para a fertirrigação.

### Princípios básicos para as regulagens

Como já estabelecido, a dose ( $D$ ) é obtida a partir da vazão ( $Q$ ) do mecanismo dosador, dividida pela largura ( $L$ ) da faixa de aplicação, definida pelo mecanismo distribuidor e pela velocidade ( $v$ ) de deslocamento. Portanto, antes de qualquer coisa, é muito importante entender a composição da máquina. A regulagem se dará no mecanismo dosador em combinação com o distribuidor.

Para alguns grupos de máquinas a regulagem é mais simples. É o caso das adubadoras de linhas, em que a regulagem é análoga à da semeadora de sementes miúdas, onde basta estabelecer uma vazão para cada linha, pois a largura já está definida pela configuração da máquina. Nestas máquinas, o item de maior importância é a definição da regularidade de distribuição tanto longitudinal quanto transversal.

Certamente, o maior desafio está na preparação das máquinas de distribuição a lanço, para granulados ou pós. Nesse caso não basta regular a vazão, pois a largura efetiva é outra incógnita. Em muitos casos, no manual da máquina é oferecida a informação de vazão do mecanismo dosador estimada para um dado produto, mas é sempre recomendável uma calibração local, com o produto do lote que será utilizado. Para isso basta coletar e pesar o material passando pelo mecanismo dosador em um tempo cronometrado, que para máquinas acionadas por TDP deve ser de 30 a 60 s. essas máquinas normalmente possuem um indicador (régua) de abertura da comporta ou do orifício dosador. A calibração feita em alguns pontos do indicador permite gerar uma reta, desejável, ou curva de calibração para aquela máquina e aquele produto.



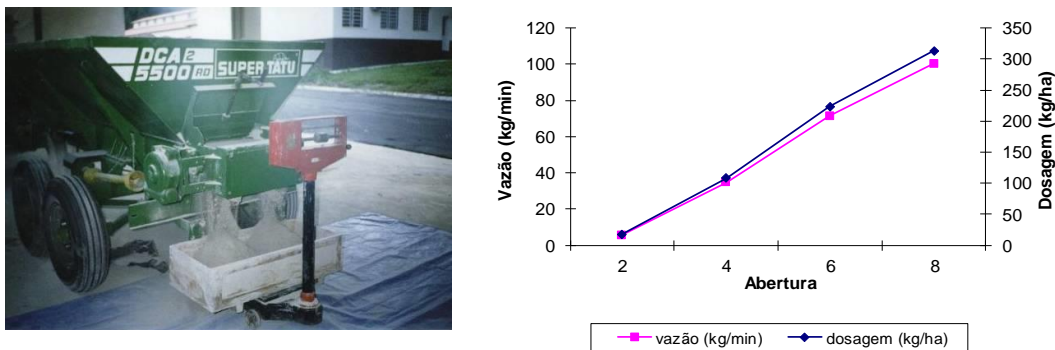


Figura 7 – Pesagem de material dosado com tempo cronometrado (esquerda); gráfico da vazão e da respectiva dose, para uma determinada largura efetiva e velocidade de aplicação (direita)

A largura efetiva também é sugerida nos manuais, mas sempre é recomendável um teste de campo com o produto do lote que será utilizado. O procedimento consiste em utilizar coletores dispostos transversalmente em uma largura maior do que a do alcance total de lançamento de partículas pela máquina, passá-la sobre os coletores aplicando o produto e avançar com a máquina até permitir que as últimas partículas ainda atinjam os coletores.

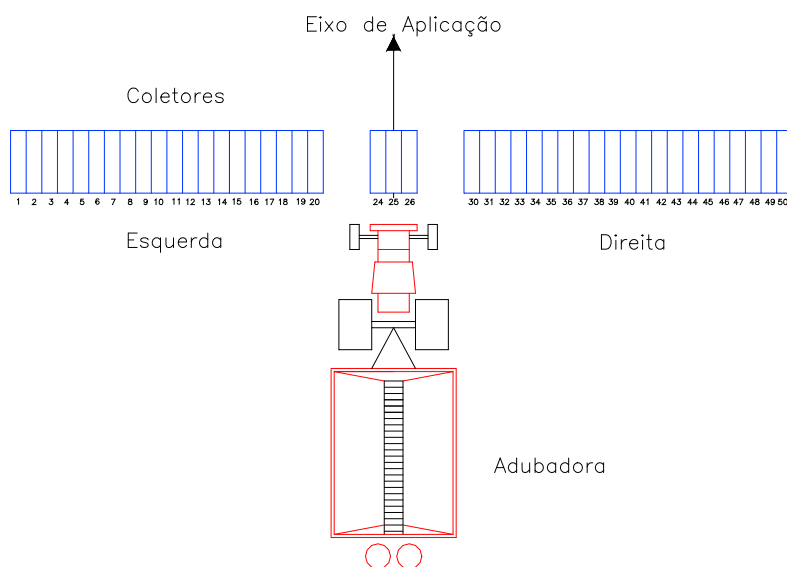


Figura 8 – Procedimento para a coleta de produto e caracterização do seu perfil de distribuição transversal

O material contido em cada coletor é pesado e assim se obtém o perfil de deposição daquela máquina, com aquela configuração e aquele produto. Com estes dados procede-se a simulação das possíveis sobreposições e calcula-se o coeficiente de variação (CV) da deposição transversal de produto dentro da largura simulada, para cada uma dessas simulações.

É importante destacar que haverá dois possíveis tipos de percursos com a máquina e que resultarão em duas formas de sobreposição entre passadas paralelas. Se a máquina se deslocar em percurso alternado (“vai-e-vem”), haverá a sobreposição de deposição de material sempre do mesmo lado: esquerdo com esquerdo e direito com direito. Caso a máquina se desloque de forma contínua, das bordas para o centro ou do centro para as bordas do talhão (abrindo ou fechando”), a sobreposição será sempre do lado esquerdo com o direito.

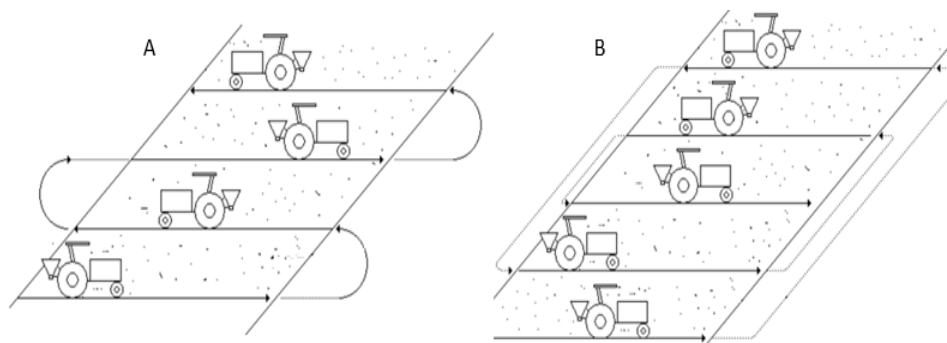


Figura 9 – Percursos da máquina com consequentes sobreposições laterais distintas: percurso alternado (A); percurso contínuo (B)

Por fim, plota-se o CV em função da largura de sobreposição e busca-se a maior largura possível com um CV aceitável.

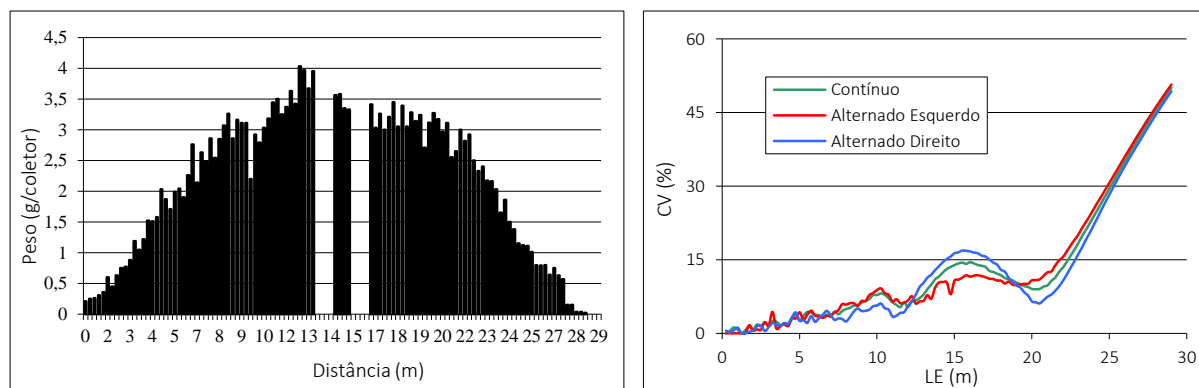


Figura 10 – À esquerda, perfil de deposição do material com o peso obtido em cada coletor; à direita, gráficos do CV como função da largura de sobreposição para o percurso contínuo, com sobreposição sempre do lado esquerdo com o direito e alternado com sobreposição à direita e à esquerda

Internacionalmente, o valor do CV é normalmente limitado a 15%, sendo que na Europa, por exemplo, tanto a indústria quanto o agricultor buscam trabalhar com larguras efetivas que resultem em CV de até 10%. Trata-se de um valor coerente para produtos com granulometria relativamente uniforme e máquinas com bom desempenho. No Brasil, especialmente para o caso dos pós (calcário, gesso e alguns fertilizantes), em que a máquina não tem o desempenho desejado pelo usuário, costuma-se flexibilizar no valor do CV da deposição transversal, comumente aceitando valor de até 20%, o que implica em irregularidade na deposição transversal do insumo.

Tomando o exemplo apresentado na Figura 10, o ponto de mínimo CV para o percurso contínuo estrará em torno de 21 m de largura efetiva. Para o percurso alternado, os valores mínimos de CV estarão em torno de 19 m para o percurso alternado com sobreposições à esquerda e 21 m para o percurso alternado com sobreposições à direita. Isso indica que a distribuição dessa máquina para esse produto apresenta alguma assimetria. No entanto, o usuário pode ser mais incisivo na interpretação destes dados e considerando CV aceitável de 15%, as larguras efetivas estarão entre 22 e 23 m.

Como visto, o procedimento exige certo empenho para ser conduzido e muito cuidado deve ser tomado no processamento dos dados, especialmente na simulação das diferentes larguras de trabalho, lembrando que para as menores larguras, a segunda e até a terceira passada adjacente, de



cada lado, pode estar influenciando o acúmulo de produto. Para tanto sugere-se utilizar uma planilha ou software dedicado. O Laboratório de Agricultura de Precisão do Departamento de Engenharia de Biosistemas da USP/ESALQ oferece o Adulção (<https://www.agriculturadeprecisao.org.br/software/>), que é um aplicativo para esse fim; sugere-se também consultar o seu manual, que trata das etapas de montagem do teste de campo, entrada e processamento dos dados e a consequente interpretação do resultado para determinar a largura efetiva de aplicação de um dado produto para uma determinada máquina.

**Questões para estudo:**

1. Para entender melhor a diversidade de produtos envolvidos nesse tema, cite exemplos da cada um:
  - de origem química
    - sólido granulado
    - em pó
    - líquido
    - gasoso
  - de origem orgânica
    - sólido
    - pastoso
    - líquido
  - corretivos em pó
2. Classifique as máquinas aplicadoras de fertilizantes e corretivos abaixo, quanto aos itens que seguem:
  - A - Forma de acoplamento à fonte de potência
    1. Montado
    2. De arrasto
    3. Auto propelido
  - B- Forma de aplicação do produto
    1. A lanço
    2. Em faixas
    3. Em linhas
  - C - Tipo de mecanismo dosador
    1. Volumétrico de esteira e comporta
    2. Volumétrico de rosca transportadora
    3. Gravitacional de orifício de abertura regulável e agitador
  - D - Tipo de mecanismo distribuidor
    1. Queda livre
    2. Centrífugo
    3. Pendular
    4. Pneumático



M1



M2



M3



M4

3. O fundamento da regulagem de aplicadores de insumos é aplicar uma dada quantidade de produto por unidade de área. Como se calcula a área para a aplicação em linhas?
4. A qualidade da aplicação, em especial, de calcário, é fortemente afetada pelo vento. Nesse caso, qual o distribuidor que resulta em menos deriva de produto?
5. No processo de regulagem de uma aplicadora a lanço deseja-se aplicar 180 kg/ha de uréia. Tem-se que a largura efetiva testada é de 8,0 m e a velocidade de aplicação será de 9,0 km/h. Num teste de vazão, quanto produto deverá ser coletado em 30s?
6. Na preparação de uma máquina para aplicação de calcário, com dose desejada de 3000 kg/ha, em teste de vazão coletou-se 130 kg em 30 s e a largura efetiva da distribuição é 6,0 m. Qual deverá ser a velocidade de aplicação?

7. Uma adubação de soqueira de cana-de açúcar, com espaçamento de 1,4 m entre linhas, vai operar a 8,0 km/h e deve aplicar 240 kg/ha de NPK. No teste de vazão do mecanismo dosador de cada linha, quanto produto deve cair em 30 s?

**Respostas:**

1.
  - de origem química
    - sólido granulado – fertilizantes simples ou de mistura de grão, ou de mistura no grão, em geral
    - em pó – fosfato natural reativo
    - líquido – potássio dissolvido, amônia dissolvida
    - gasoso – amônia anidra
  - de origem orgânica
    - sólido – esterco de galinha, casca de café e de tantos outros produtos
    - pastoso – esterco de curral
    - líquido – vinhaça, chorume
  - corretivos em pó – calcário, gesso
2. Máquina 1: A – 2; B – 3; C – 2; D – 1  
 Máquina 2: A – 1; B – 1; C – 3; D – 3  
 Máquina 3: A – 2; B – 1; C – 1; D – 2  
 Máquina 4: A – 3; B – 2; C – 1; D – 4
3. Tomando o comprimento das linhas e multiplicando pelo espaçamento entre elas. A dose, obviamente será aplicada de forma concentrada, nas linhas.
4. Os mecanismos distribuidores centrífugo e pendular buscam imprimir energia cinética às partículas para arremessa-las mais distante. No entanto, o calcário em pó não se enquadra exatamente nesse conceito. A energia cinética dos mecanismos expõe o pó ao vento, o que causa derivas indesejáveis. Os mecanismos de queda livre, por não imprimirem energia ao material que flui do mecanismo dosador, causam menor deriva ao calcário e como o produto não é lançado, podem utilizar cortinas e serem posicionados em menor altura em relação ao solo.
5. Uma dica: como a dose (D) é a vazão (Q) dividida pela largura (L) e pela velocidade (v) (em kg, m, s), basta converter a velocidade de km/h para m/s e usar o fator de conversão 10000 (para converter ha para m<sup>2</sup>):  $D = 10000 (Q / (L \cdot v))$   
 $Q = 0,36 \text{ kg/s}, 10,8 \text{ kg em } 30 \text{ s}$
6. 2,41 m/s ou 8,7 km/h
7. 0,0747 kg/s, 2,24 kg em 30 s