

Sistemas de orientação para faixas paralelas e direção automática

José P. Molin
ESALQ/USP
jpmolin@usp.br



www.agriculturadeprecisao.org.br

Objetivo

Abordar as técnicas relacionadas às aplicações de GNSS na orientação de máquinas agrícolas, como auxílio visual (barra de luz e similares) e em sistemas autônomos (piloto automático)

Sistemas de orientação

- Estacas
- Bandeirinhas
- Espuma
- Cabo-de-aço
- Pingente (corrente)
- Discos marcadores
- Sistemas auxiliados por GNSS



Marcadores de espuma – na pulverização

A solução dos marcadores de espuma

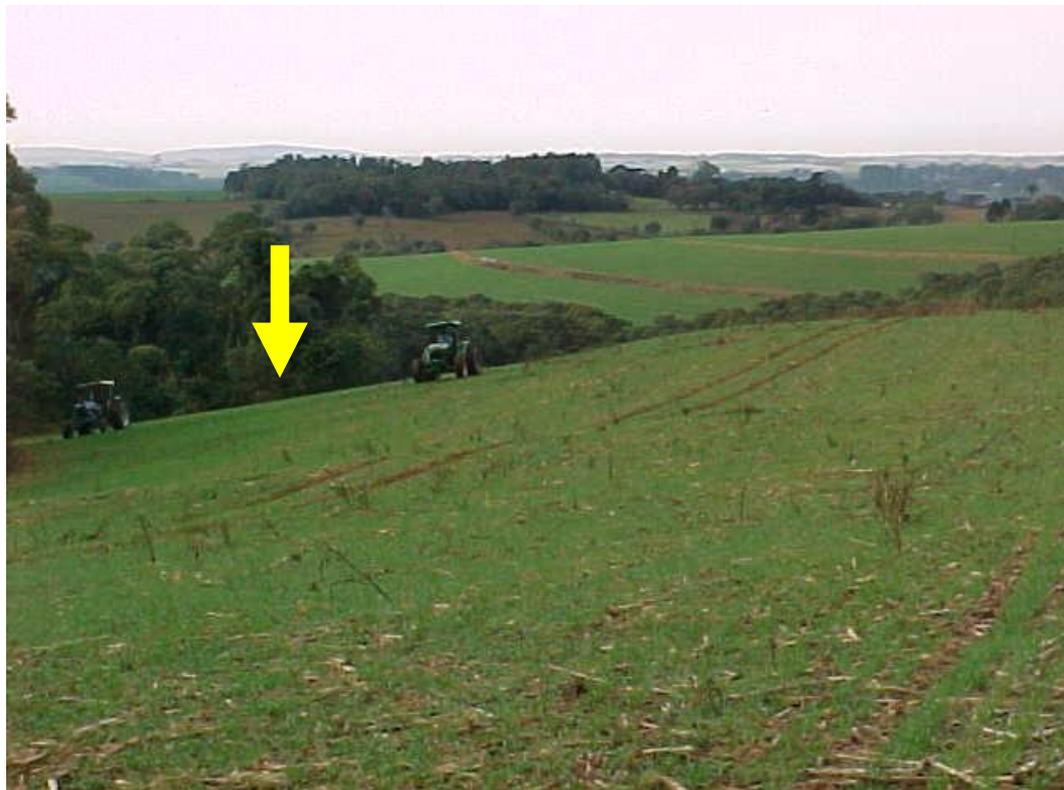
1999



... ou marcador de linha



Cabo-de-aço para marcar as passadas do pulverizador...





... ou balizamento



O surgimento da “barra de luzes”:
aplicações aéreas - substituição dos “bandeirinhas”



Barras de luzes em avião agrícola



Pinal County NW

-32 57'

-32 56'

06220622 1"=2231.3'

112

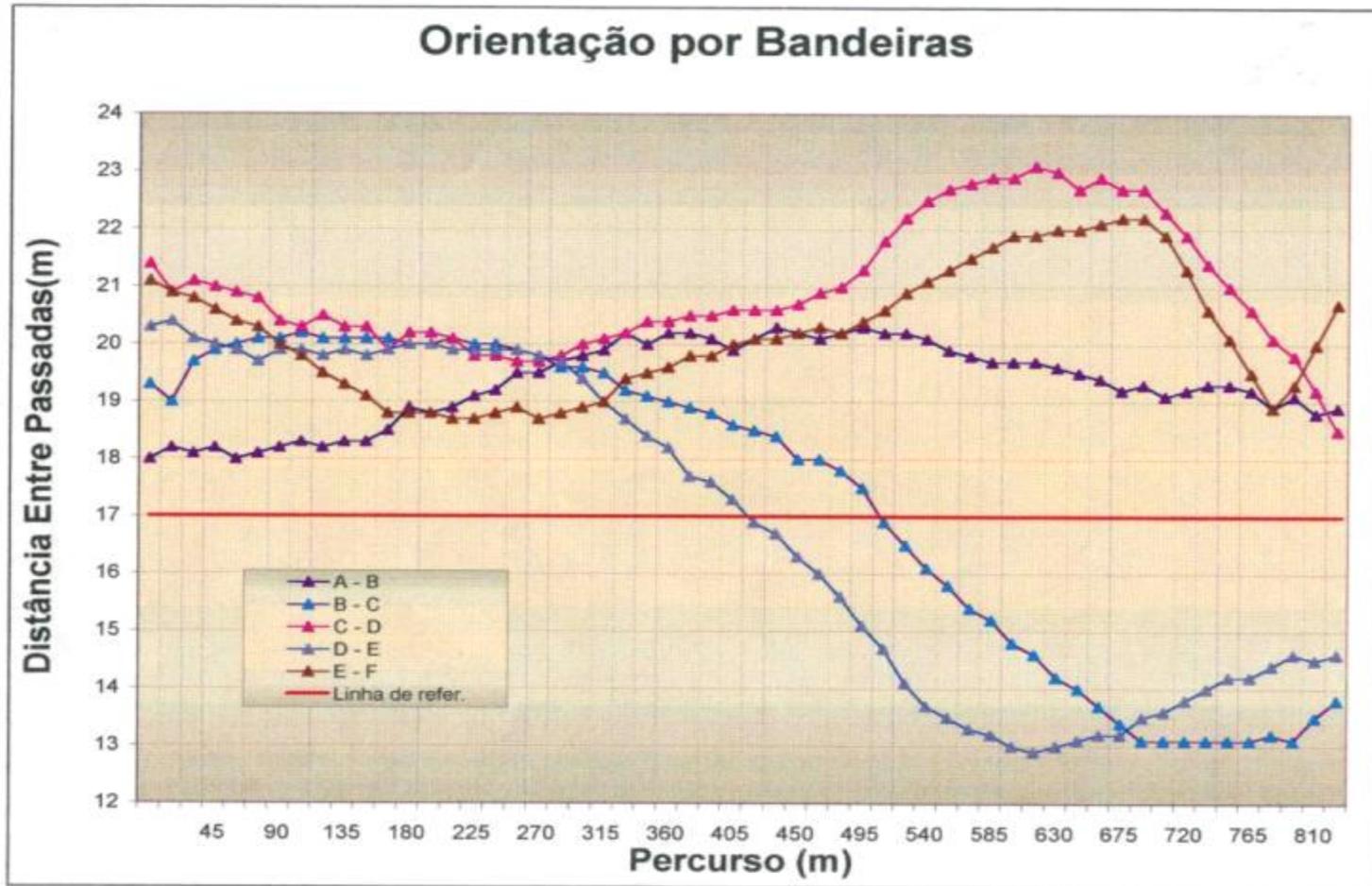
111 58'

111 58'

Registro dos dados de percursos

1995!!

Resultados de precisão incontestáveis...



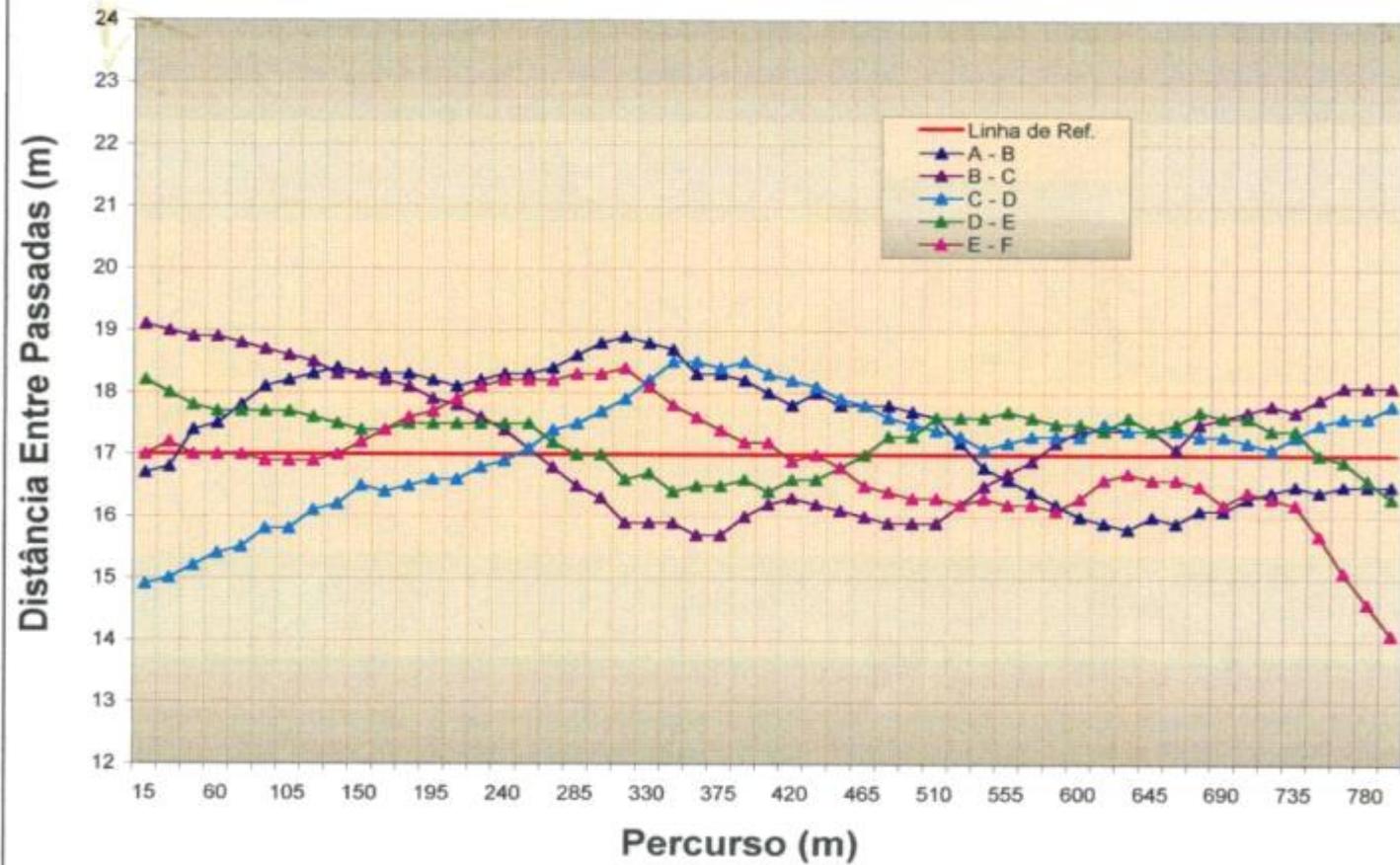
Molin, 1998

Barras de luzes em avião agrícola



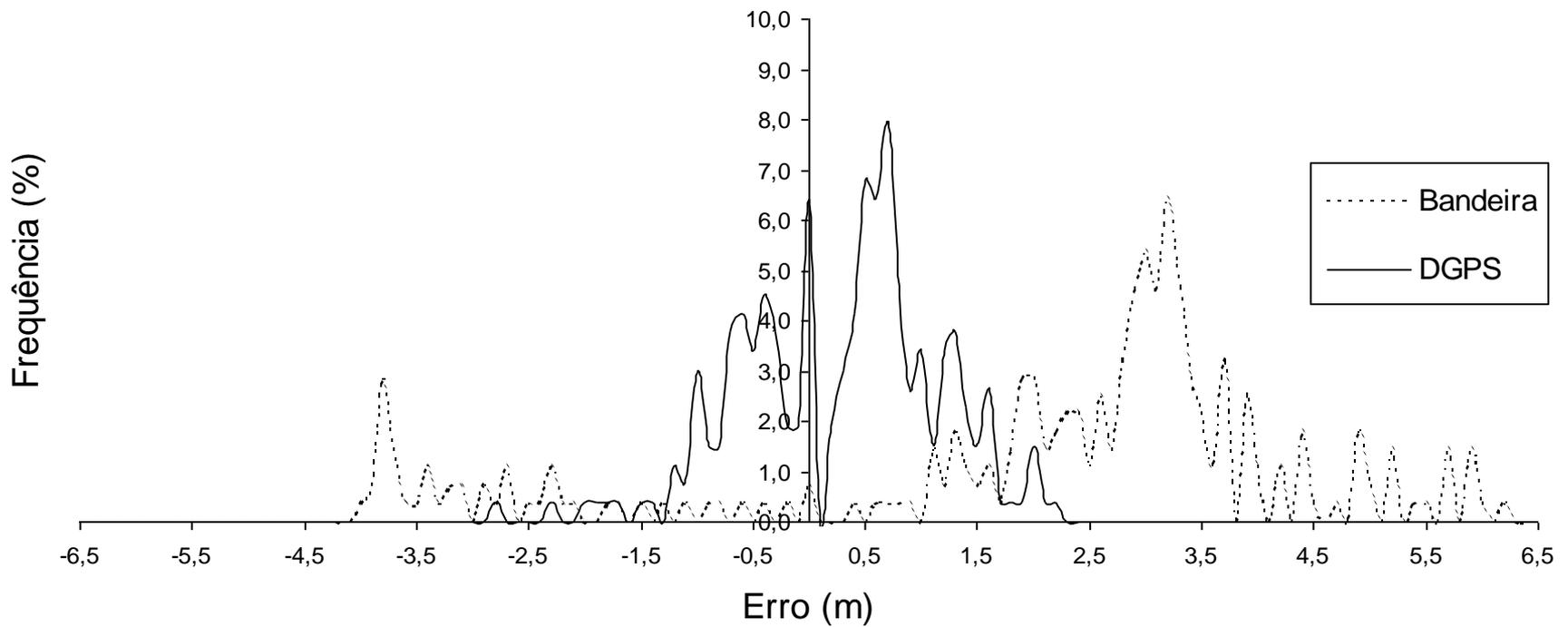
Piracicaba, 1997

Orientação por GPS



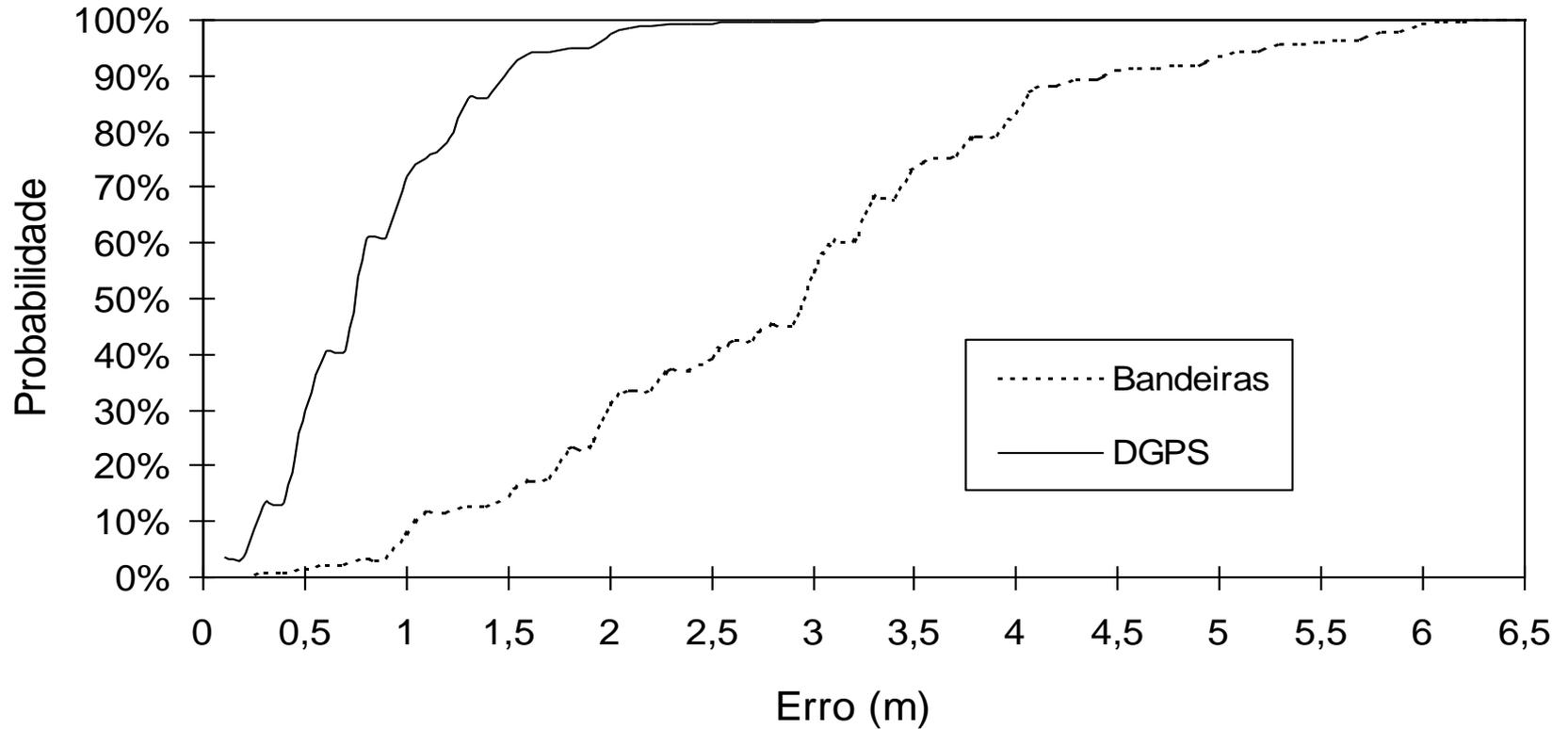
Molin, 1998

Frequência de Erro



Molin, 1998

Probabilidade de Erro



Molin, 1998

Brasil tem 2083 aviões e 6 helicópteros agrícolas, 240 empresas aeroagrícolas e 548 operadores privados

21/02/17



Fonte: Eduardo Araújo

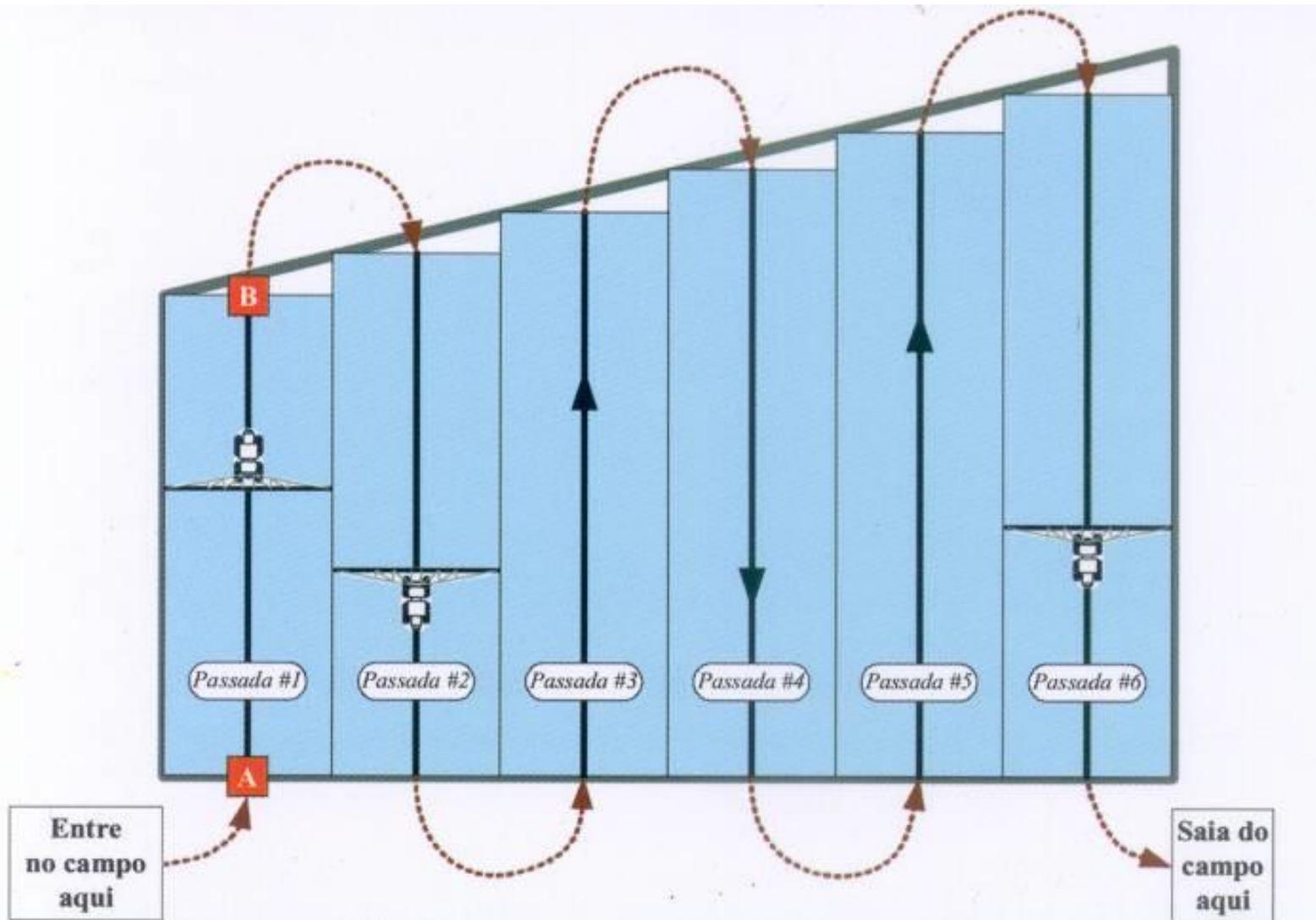


Fonte: Eduardo Araújo

Barra de luzes para aplicações terrestres



Solução perfeita para percursos retos



... nem tanto para curvas

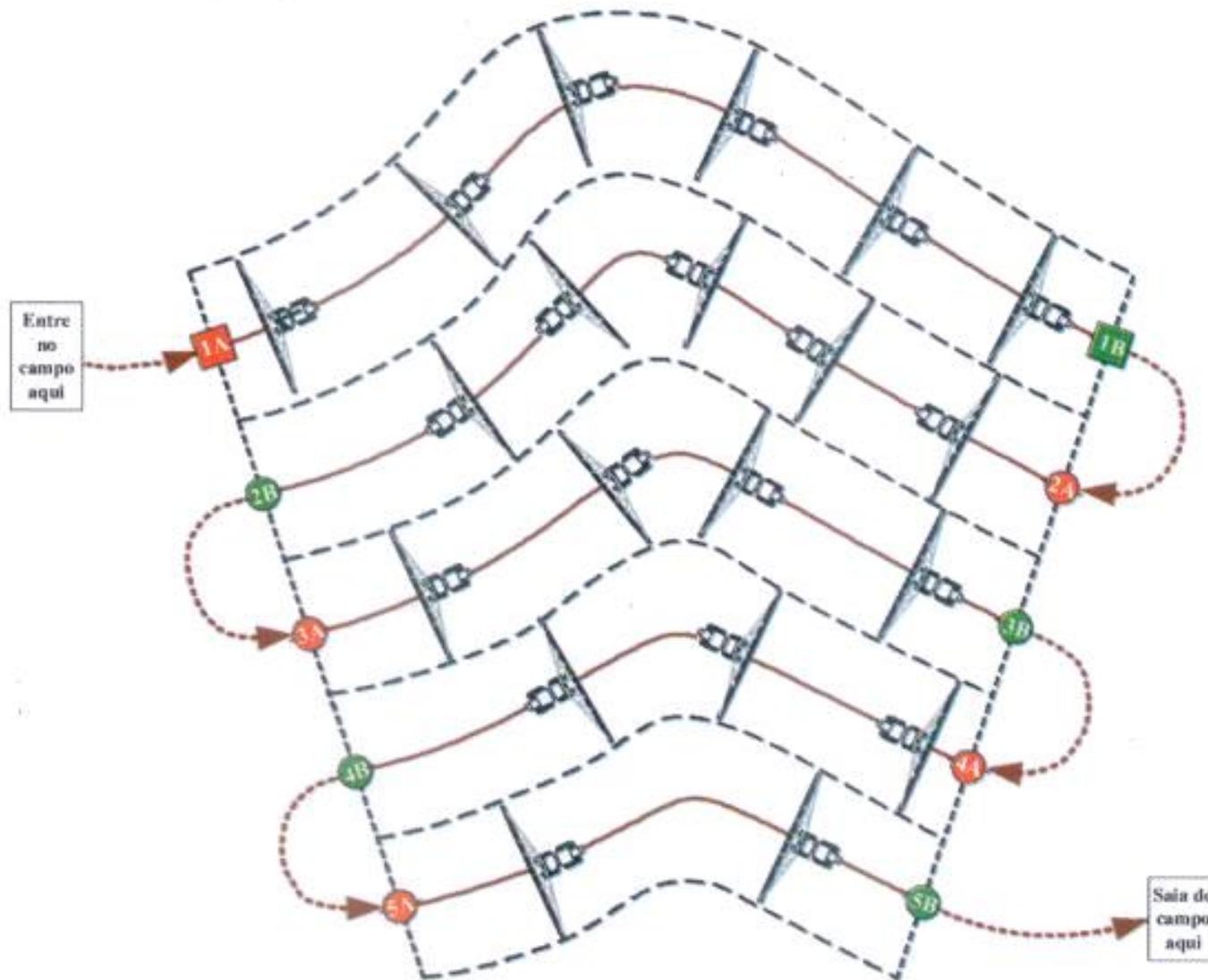
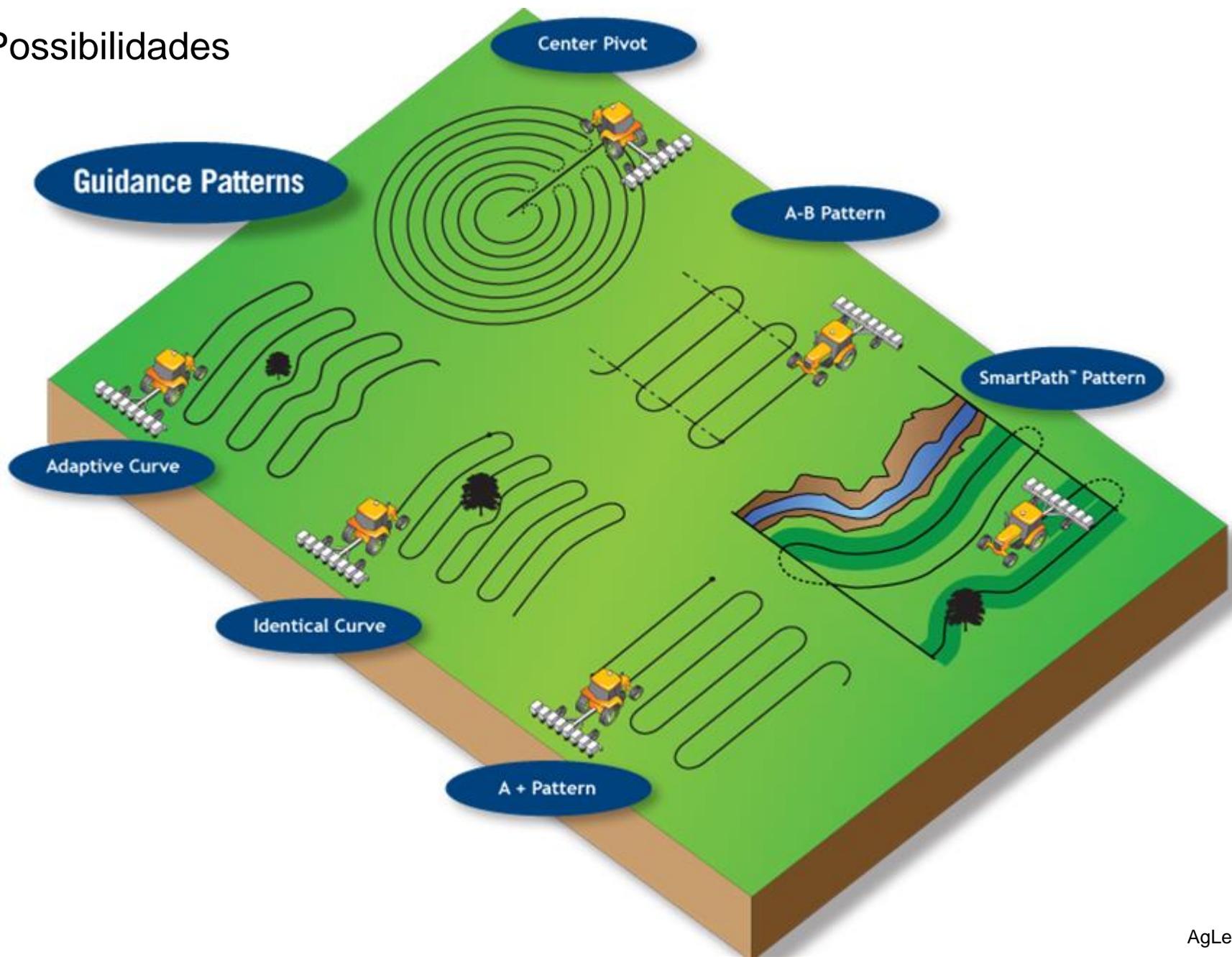


Diagrama trabalho em Contorno (curvas)

Possibilidades



AgLeader

Barra de luzes tradicional



Barra de luzes (leds) com
tela auxiliar (estrada virtual)

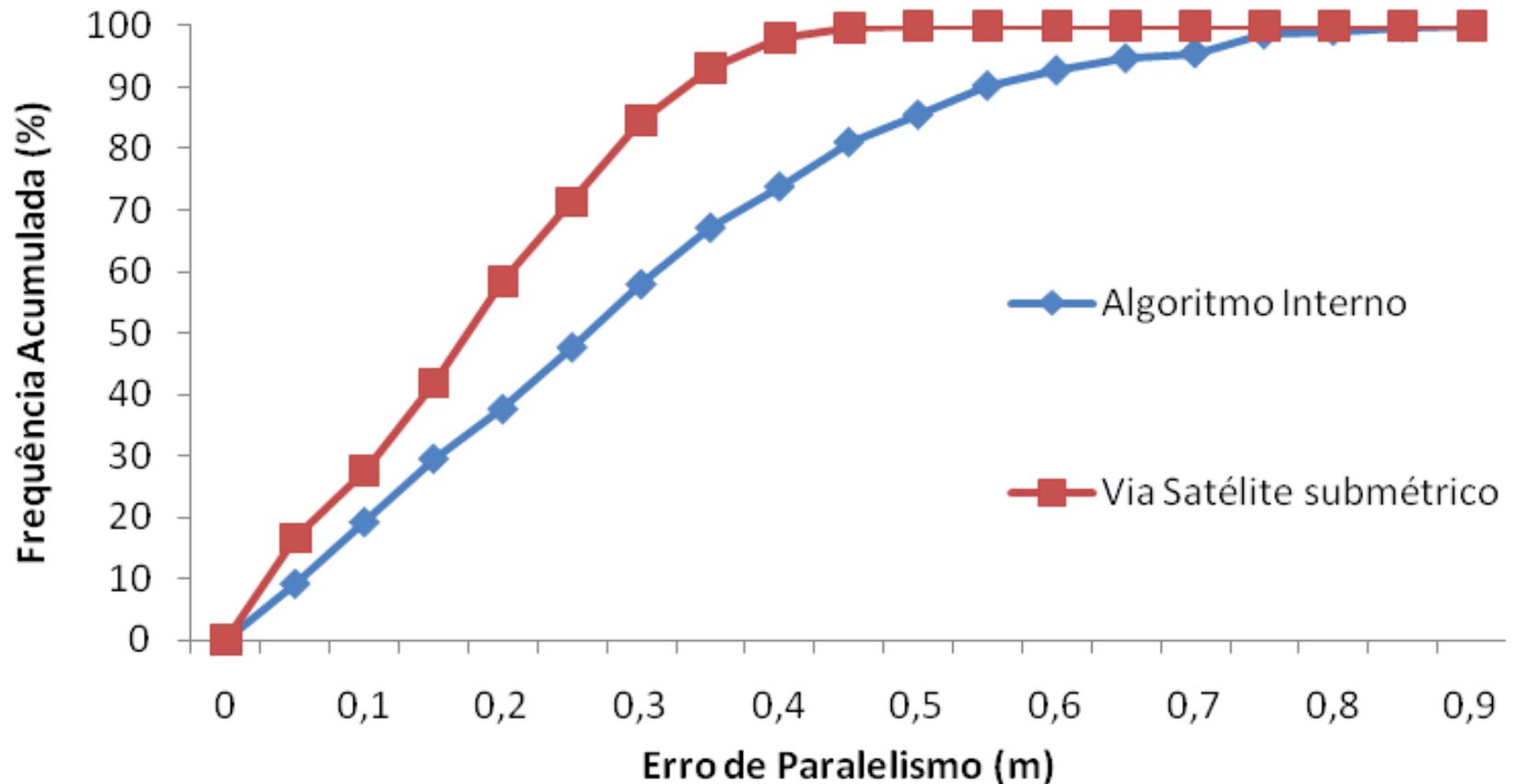




Barra de luzes (leds) com
tela auxiliar (estrada virtual)

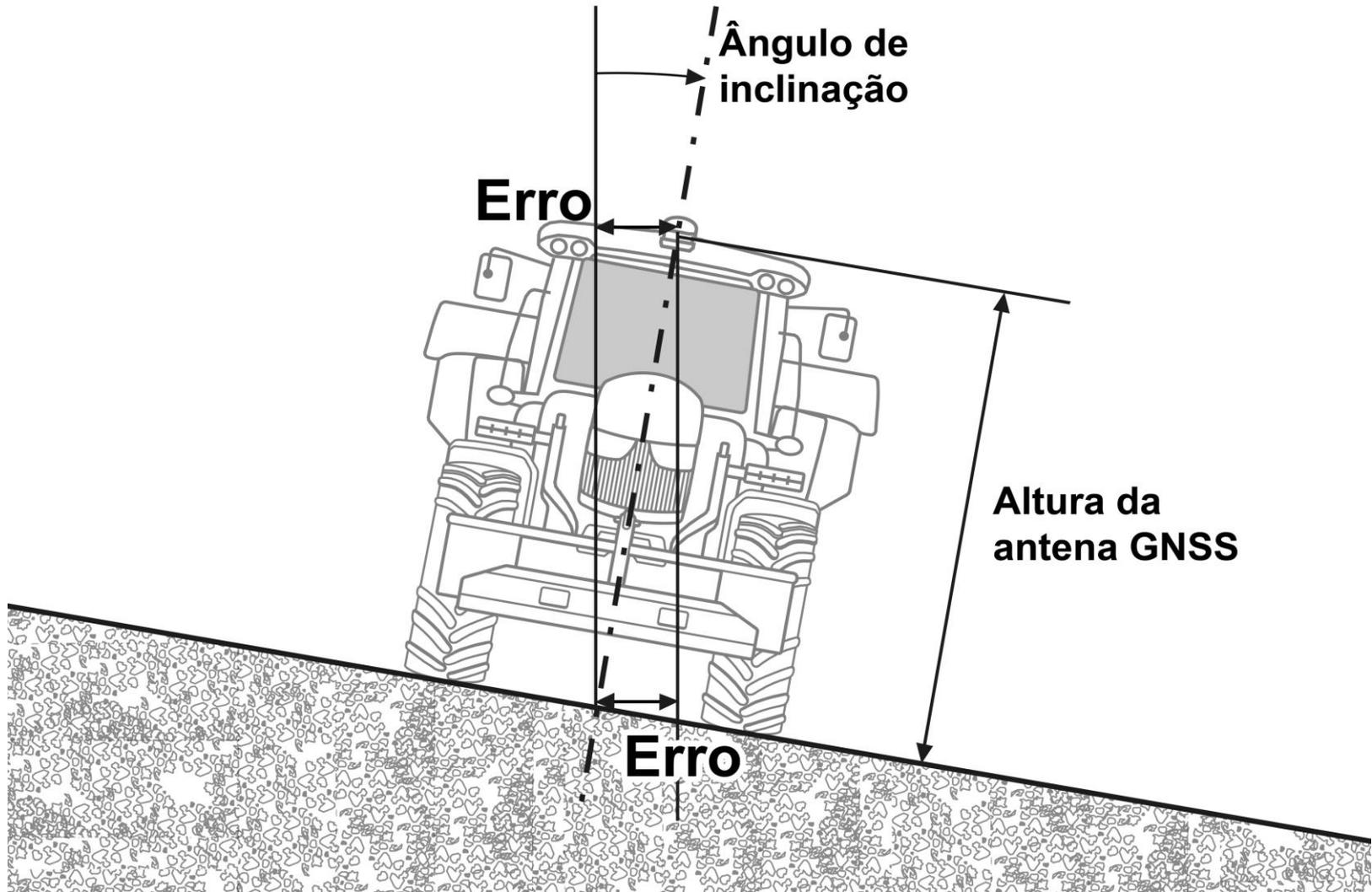


Freqüência acumulada dos erros de paralelismo para barra de luzes



MOLIN et al., 2011

Necessidade de correção para inclinação lateral



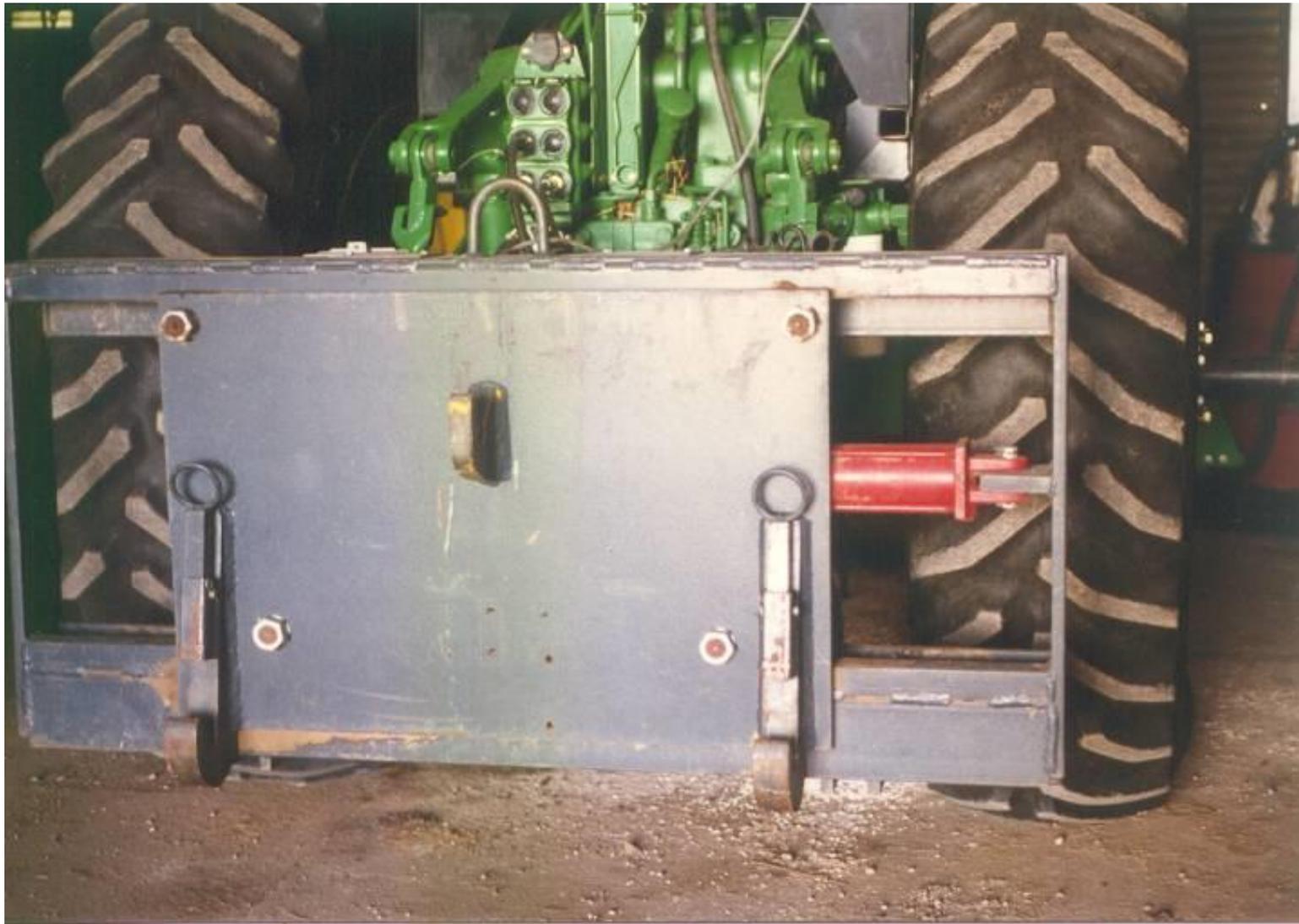
A evolução dos sistemas automáticos de alinhamento e direção

Controlador de posição de implemento montado (cultivador/capina) com sensor de posição e atuador hidráulico



Nebraska, 1993

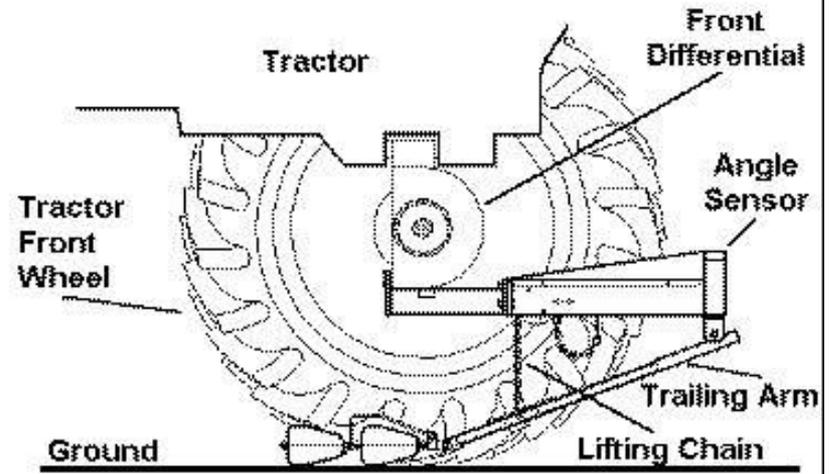
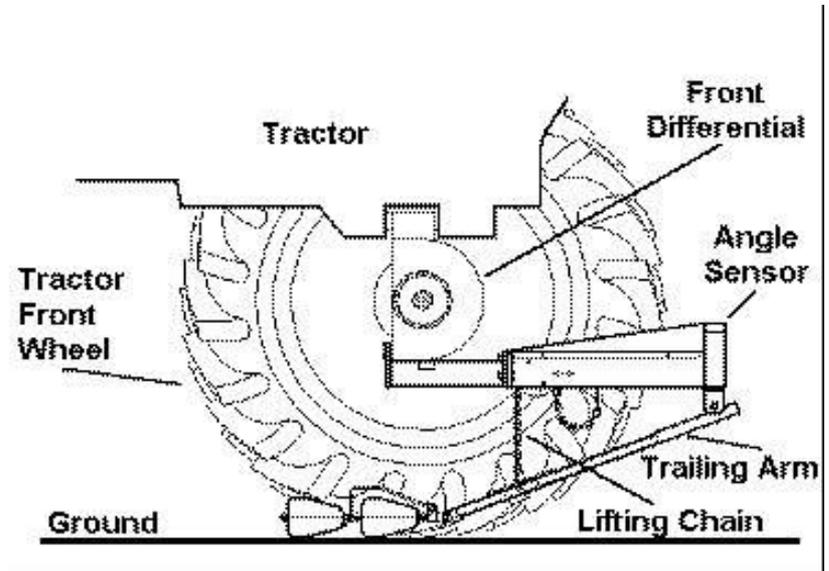
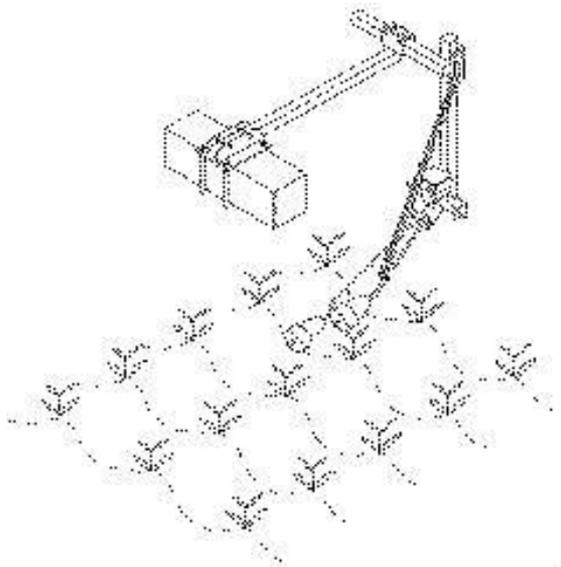
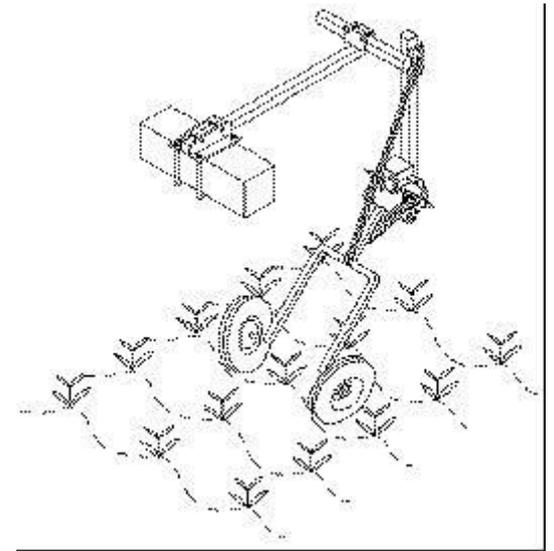
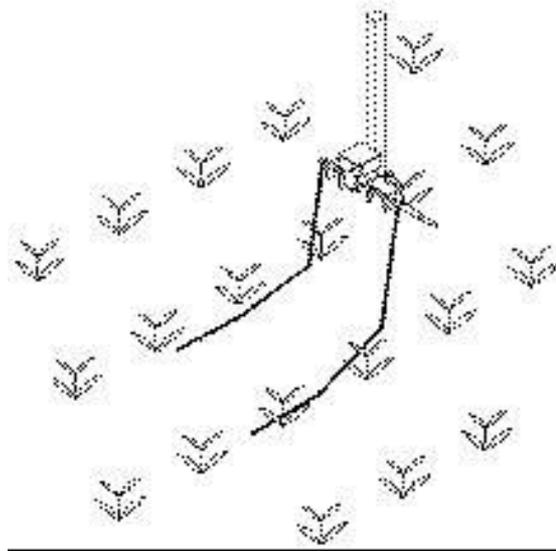
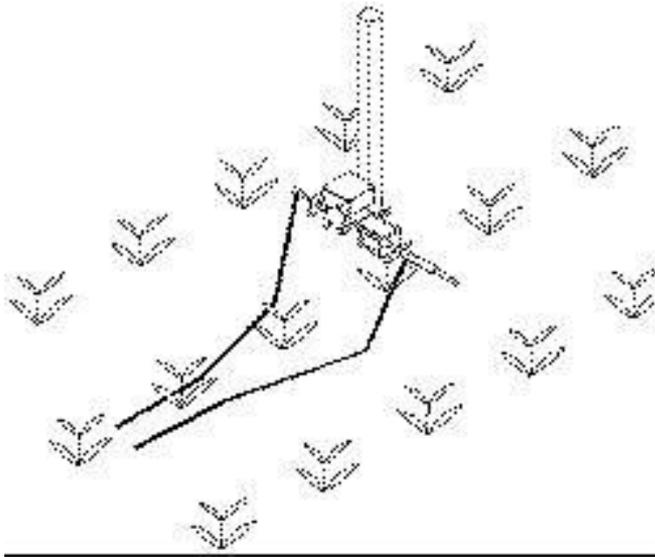
Controlador de posição de implemento montado (cultivador/capina) com sensor de posição e atuador hidráulico



Nebraska, 1994



Sensores



Sistemas Class

AUTO PILOT
LASER PILOT
CAM PILOT

30 years of expertise
in steering systems.



Class

Auto Pilot



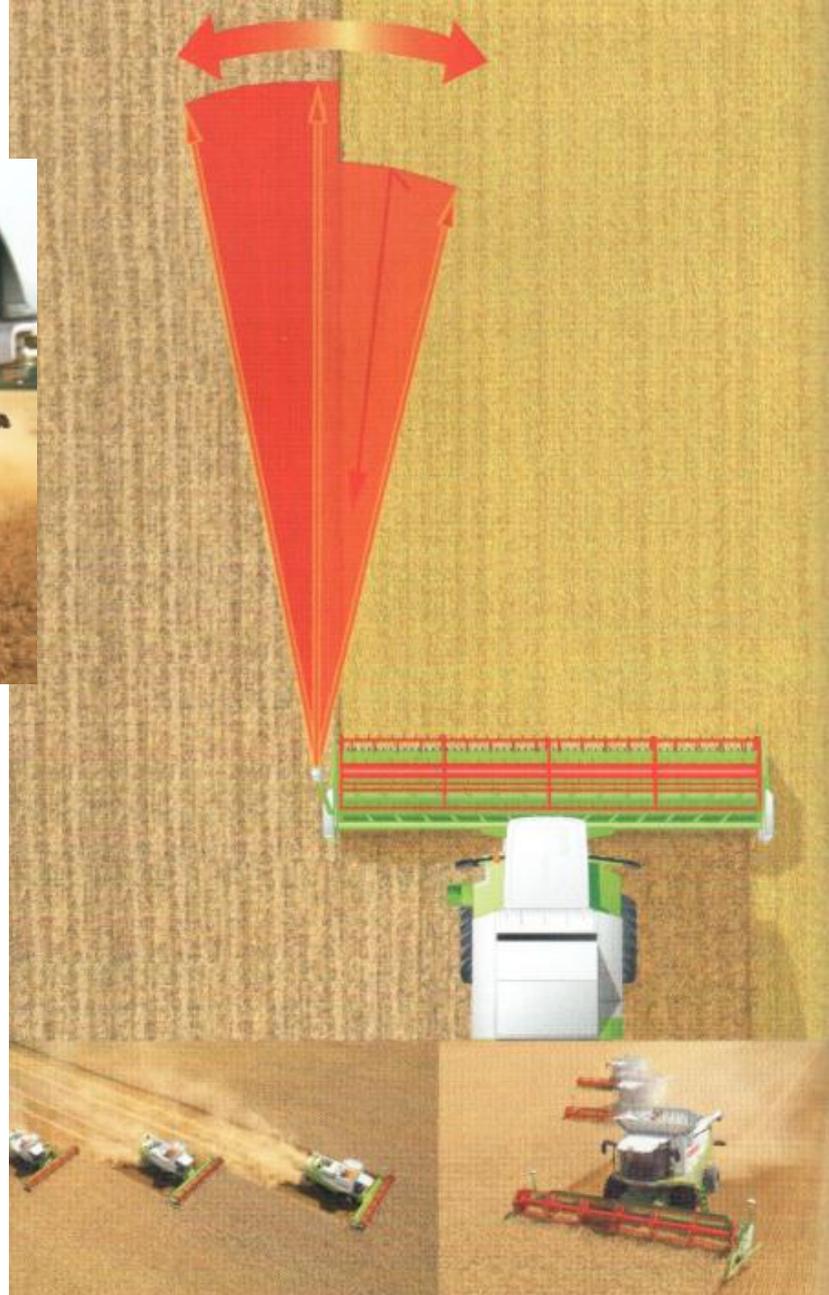
Class



Laser Pilot



Class



Cam Pilot



Class

Comparativo

		Process	Precision
CLAAS AUTO PILOT		Deflection	Row-dependent
CLAAS LASER PILOT		Laser signal	10-20 cm
CLAAS CAM PILOT		Imaging signal	2-3 cm
S LITE CLAAS GPS PILOT	EGNOS	Satellite differential correction signal	15-30 cm*
CLAAS GPS PILOT	OMNISTAR HP	Satellite differential correction signal	5-10 cm*
CLAAS GPS PILOT	BASELINE HD	Proprietary differential correcti- on signal	4-6 cm*
CLAAS GPS PILOT	RTK	Proprietary differential correcti- on signal	2-3 cm*

*GPS precision

Class

Sistema utilizando ultrasom



The system components:
 -mobil Siemens job computer
 -electro-hydraulically controlled proportional valve
 -Vehicle terminal controlled in radio box
 -potentiometer steering unit for the left armrest
 -sensor bar with four ultrasonic sensors for the front hitch



An optional feature is the small potentiometer steering wheel, mounted on the left hand armrest. With this feature the driver can do quick and easy headland turns. He just switches from automatic steering to potentiometer steering and he can turn with a comfortable small control wheel on his armrest.



The Sensor easily can be adjusted to follow rows, crop borders or swaths just by switching the two handles in the direction of the border to be sensed.



The Ultrasonic sensing bar mounted at the front hitch, recognizes differences greater than 10 cm on the field and transforms this into steering signals via a small integrated valve in the steering circuit.



The driver can rely on the tractor automatically following the rows. He can concentrate on the application, control and optimize the output to save products and money while improving crop quality. Late evening and night spray application with limited visibility is no longer a problem

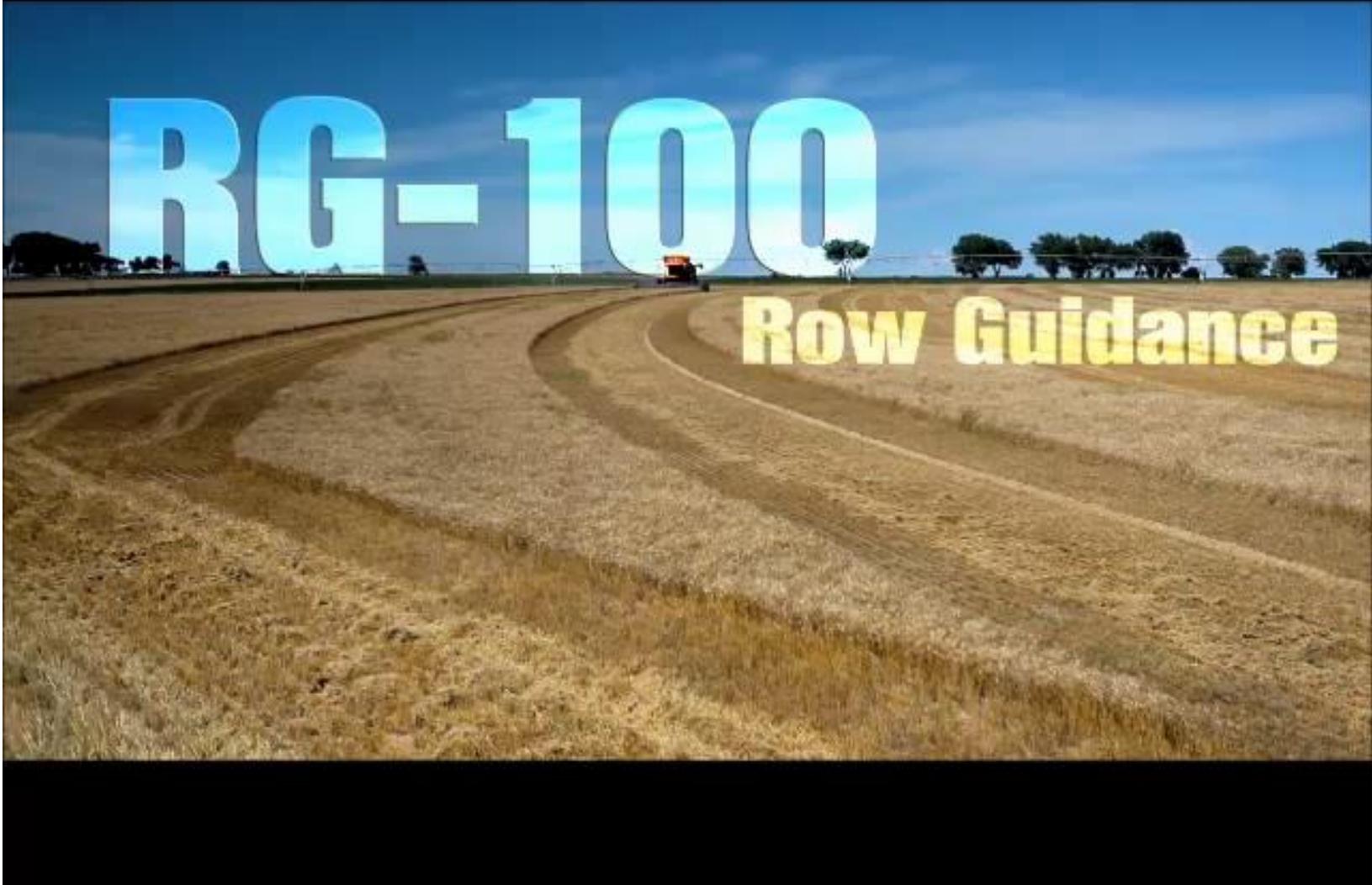


The system turns off and back to normal manual controlled steering as soon as:
 -the steering wheel is turned
 -23-km/h limit is exceeded
 -the cab doors are opened
 -failures of system components
 -main switch is switched off
 -main menu is being quit

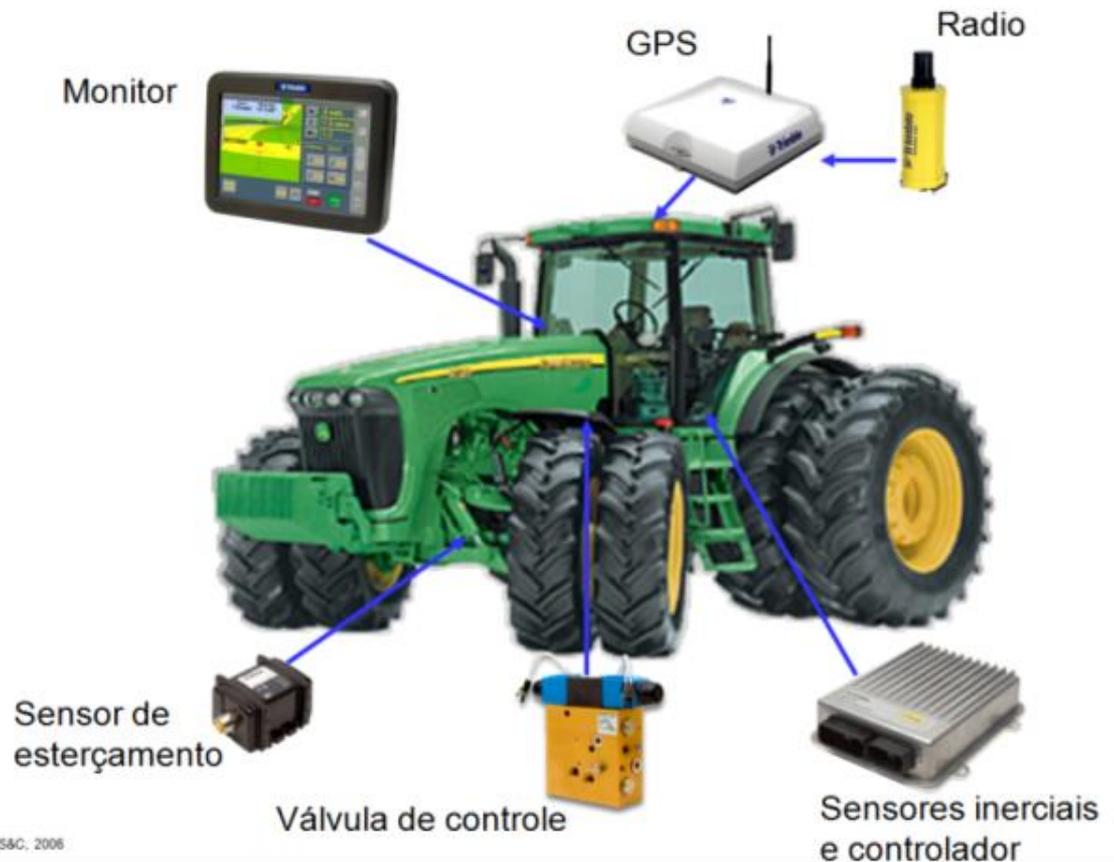


Sistema utilizando
imagem





O surgimento dos sistemas de direção automática com GNSS



Pista de ensaio de tratores da
Universidade de Nebraska, 1995



Pista de ensaio de tratores da
Universidade de Nebraska, 1995

GPS com correção via rádio

trator com um motor
hidráulico no volante





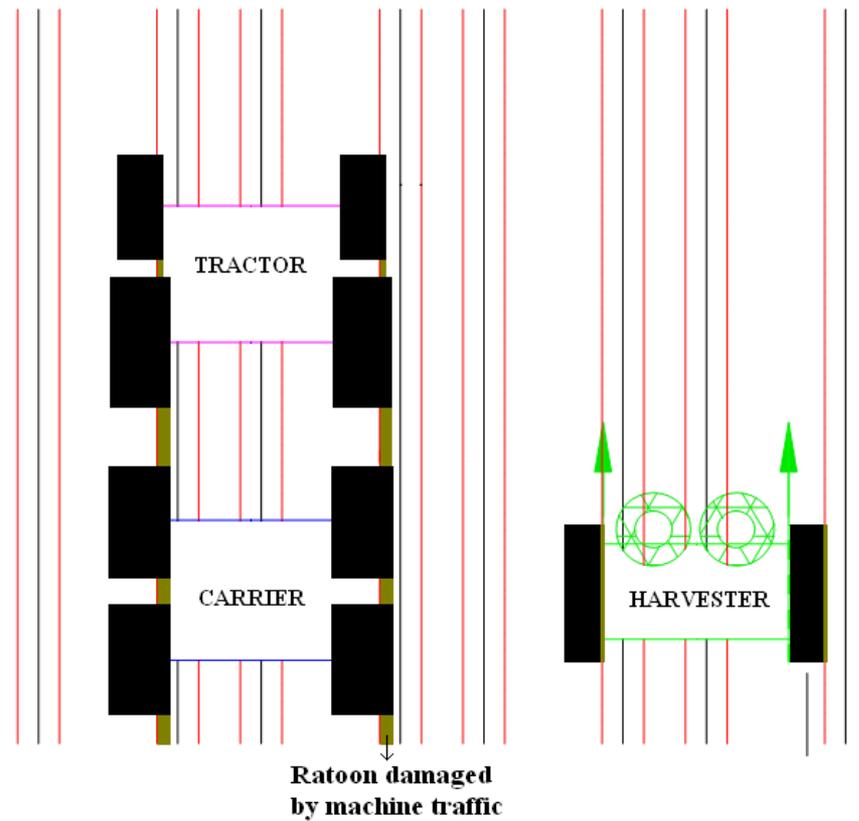
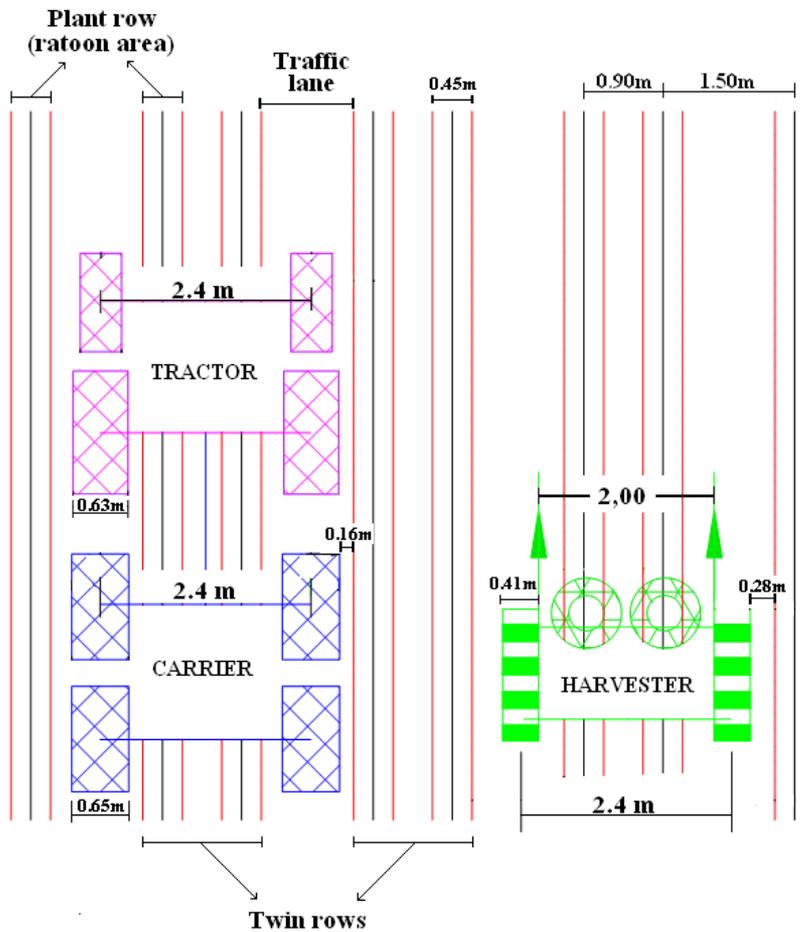
2002



2001

Rápida adoção no Brasil

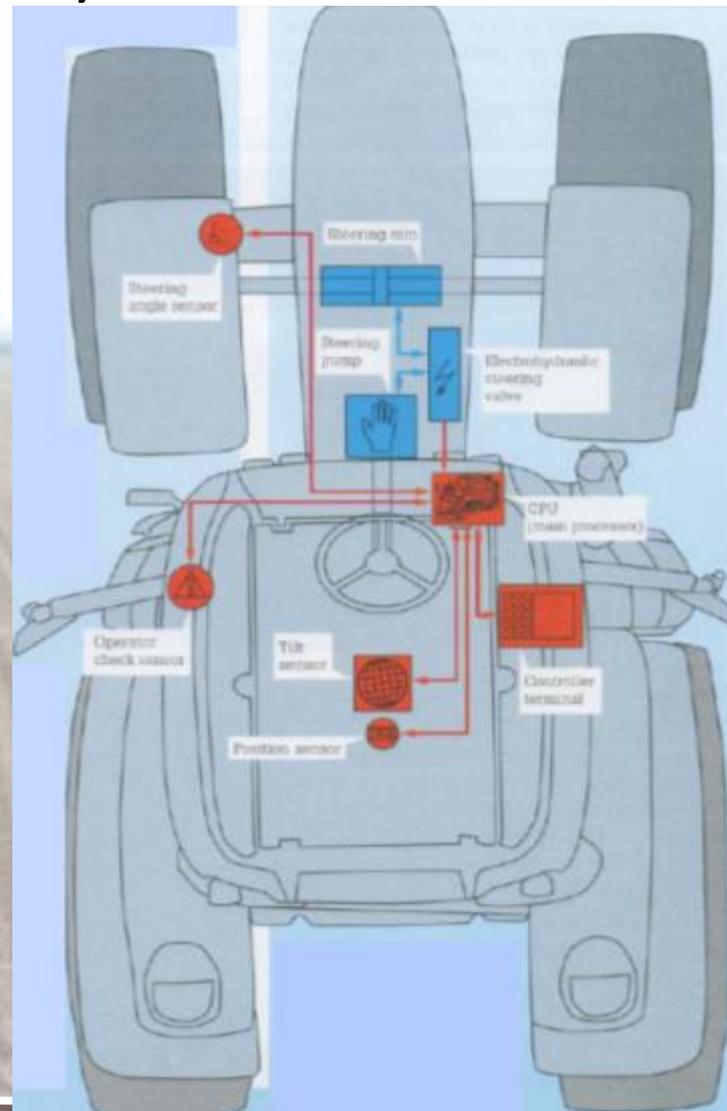




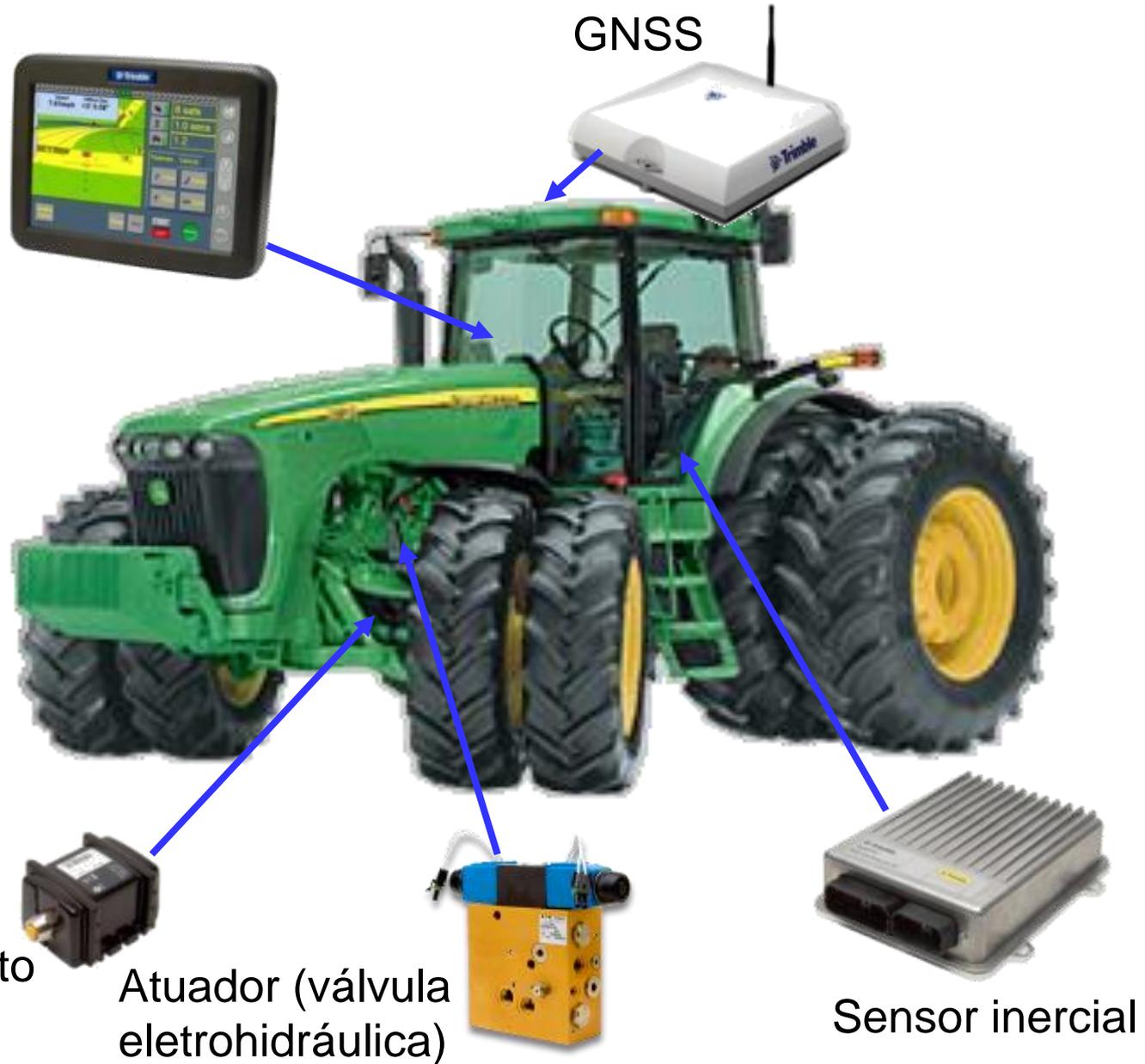
Spekken et al. (2014)

Tipos de sistemas de direção automática:

Atuadores Integrados (hidráulicos)



Monitor
(computador)



Sensor de
esterçamento

Atuador (válvula
eletrohidráulica)

Sensor inercial

Adaptado de S&C, 2006

Tipos de sistemas de direção automática:

Atuadores de volante

...atrito no volante



Sistema de atuador por atrito no volante



Tipos de sistemas de direção automática:

Atuadores de volante

...motor elétrico na coluna



Motor elétrico na coluna da direção



Sistemas de atuação no volante do trator

Motor elétrico diretamente na coluna de direção



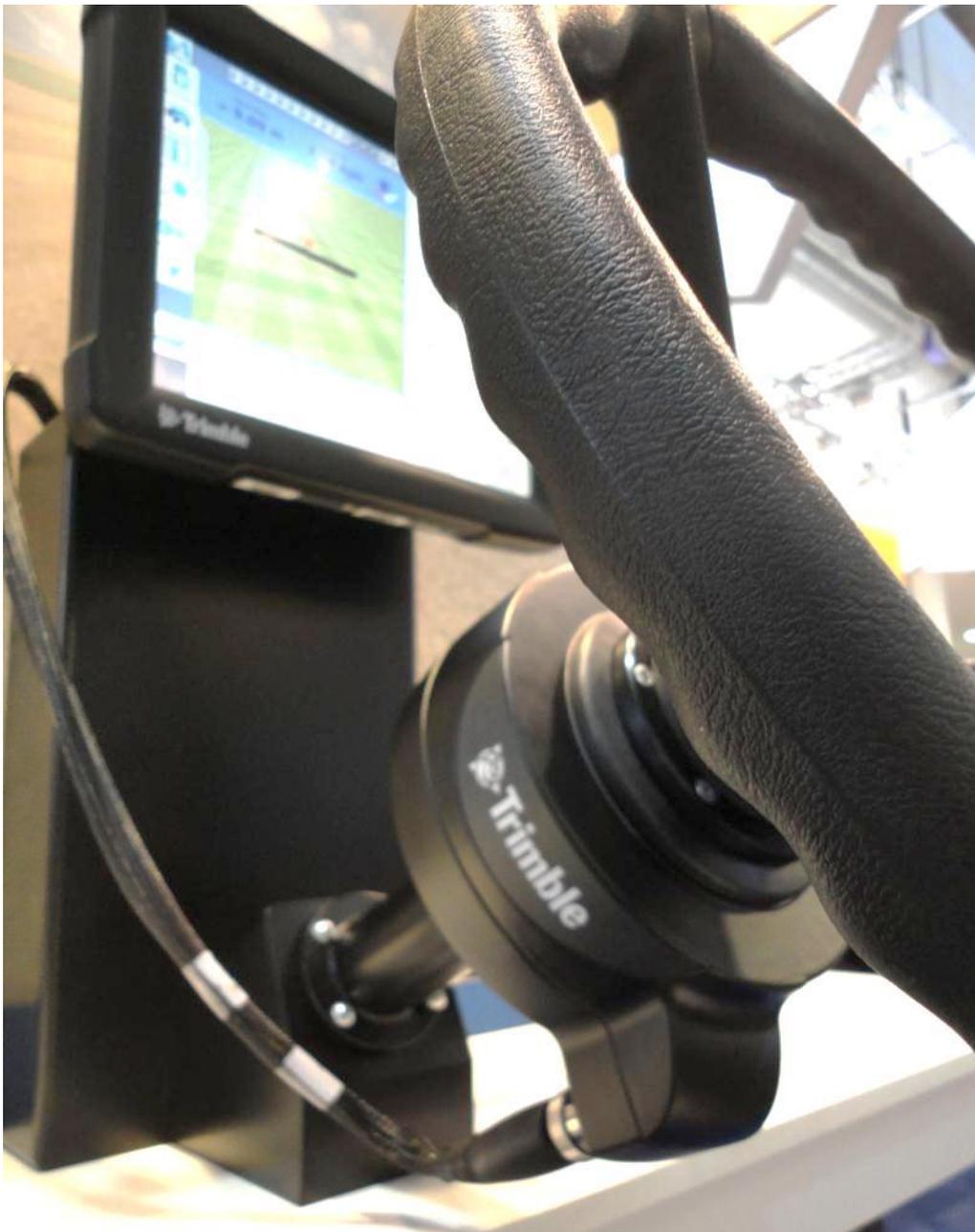
Sistemas de atuação no volante do trator

Motor elétrico com corrente na coluna de direção



Motor elétrico com roda de atrito



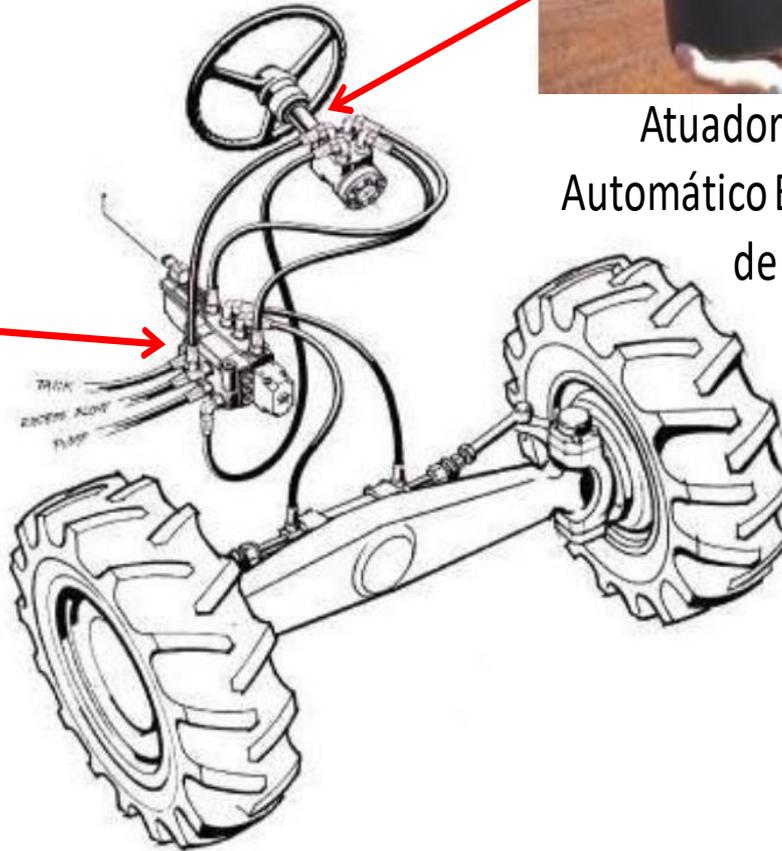


Agritechnica 2011





Bloco de Válvula de um Piloto Automático Hidráulico



Atuador de um Piloto Automático Elétrico na Coluna de Direção

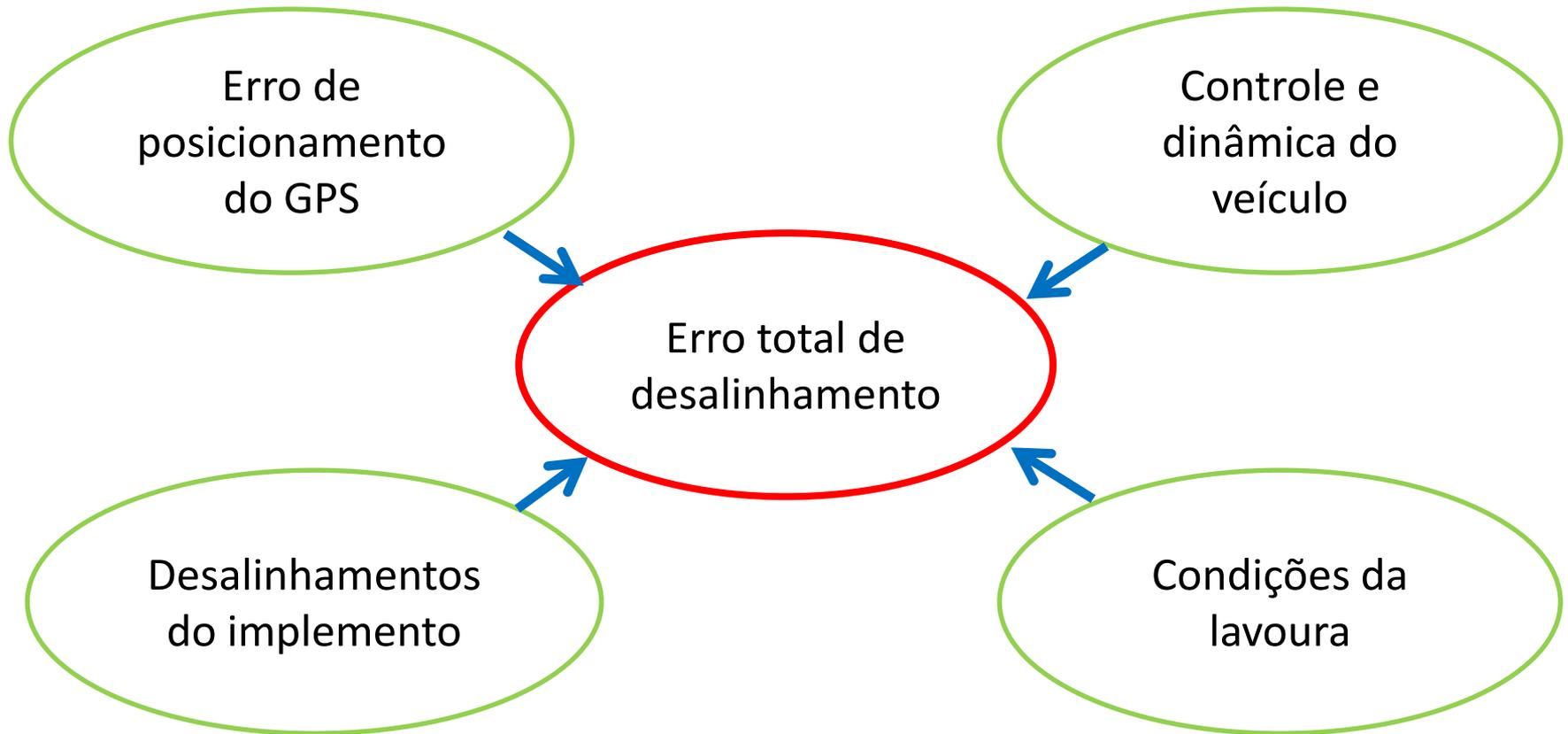
Adaptado de Timble; John Deere, Salvi (2014)

Performance ↑

Preço →



Composição do erro de sistemas de direção automática



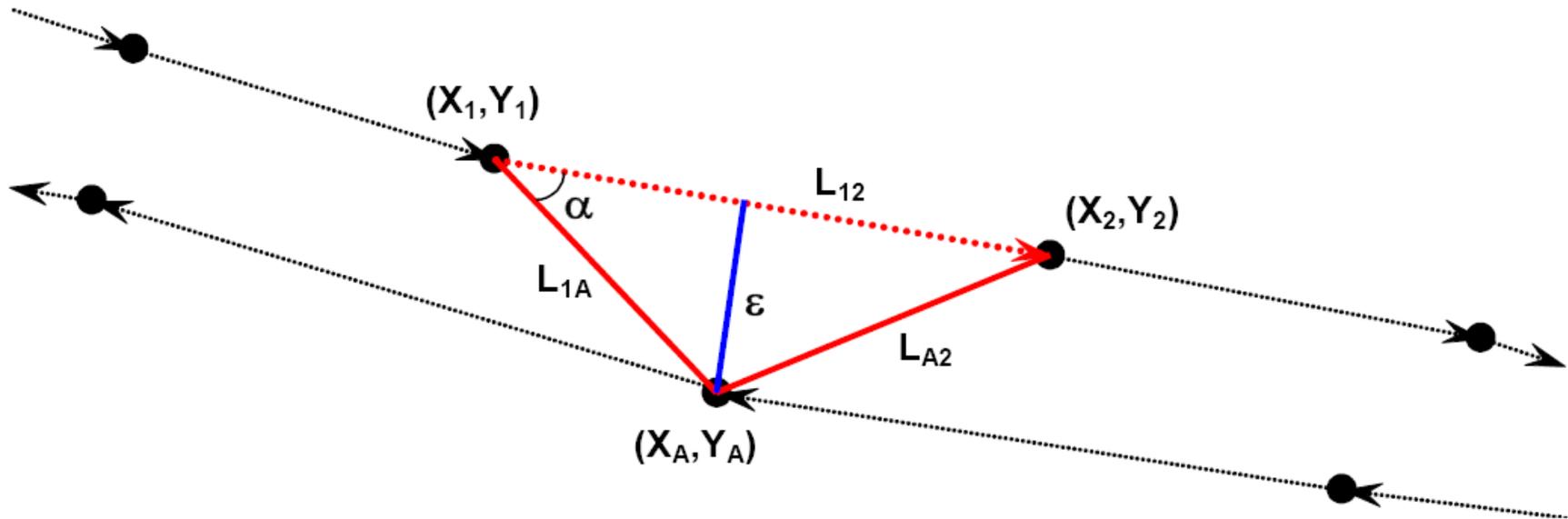
adaptado de Adamchuk, 2007

O que considerar ao avaliar sistemas de orientação (barra e piloto)

- Natureza do ensaio
 - estático ou cinemático
- Duração do ensaio
 - passada por passada (15 min) ou longa duração (ano seguinte)
- Definição do ensaio
 - precisão ou acurácia
- Estatística utilizada
 - predição media, 68% (1σ) ou 95% (2σ)
- Tipo de erro
 - posicionamento ou paralelismo

adaptado de Adamchuk, 2007

Definição de “Erro”



$$L_{A2}^2 = L_{1A}^2 + L_{12}^2 - 2L_{1A}L_{12} \cos \alpha \quad \Rightarrow \quad \cos \alpha = \frac{L_{1A}^2 + L_{12}^2 - L_{A2}^2}{2L_{1A}L_{12}}$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha}$$

$$\epsilon = L_{1A} \sin \alpha \quad \Rightarrow \quad \epsilon = L_{1A} \sqrt{1 - \left(\frac{L_{1A}^2 + L_{12}^2 - L_{A2}^2}{2L_{1A}L_{12}} \right)^2}$$

adaptado de Adamchuk, 2007

Vantagens dos sistemas de direção automática

- permitem a redução da compactação do solo e danos às plantas (ou soqueiras no caso da cana) com controle de trafego
- permitem velocidades operacionais maiores
- reduzem a fadiga do operador
- permitem a operação mesmo com falta de visibilidade (dia e noite)
- otimizam o raio de manobras
- minimizam os erros de paralelismo
- permitem a operação com mais do que um conjunto na mesma área
- a operação pode iniciar em qualquer ponto da lavoura
- aumentam o rendimento operacional
- permitem a integração das operações automatizadas sob uma mesma base de dados – plantio, tratos culturais e colheita (percursos gravados)

Controle de tráfico



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

ast

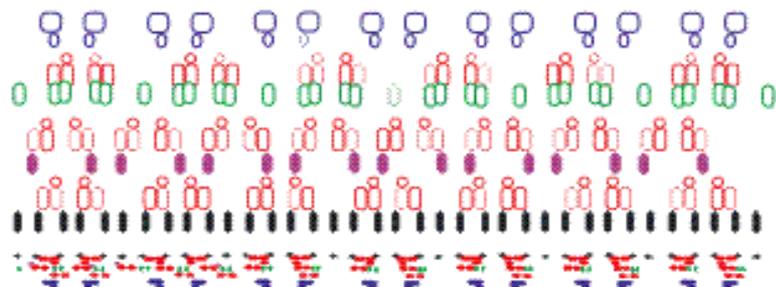


Tráfego em lavoura de grãos - Australia

Caminhos de rodas na lavoura

Cobertura

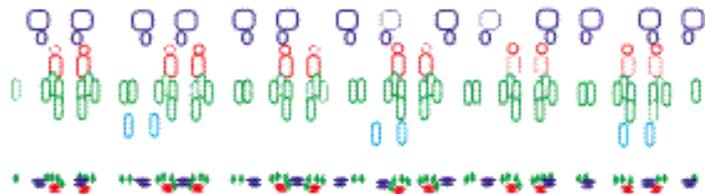
Preparo convencional



Colhedora
Trator e semeadora
Escarificador
Arado de Aiveca
Soma de tráfego

82%

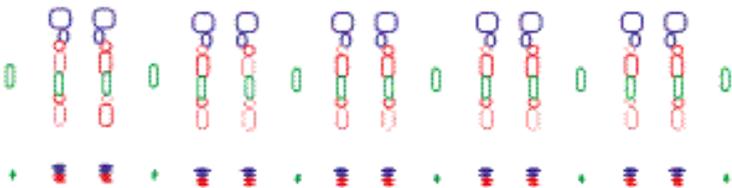
Plantio direto



Colhedora
Trator e semeadora
Pulverizador
Soma de tráfego

46%

Tráfego controlado



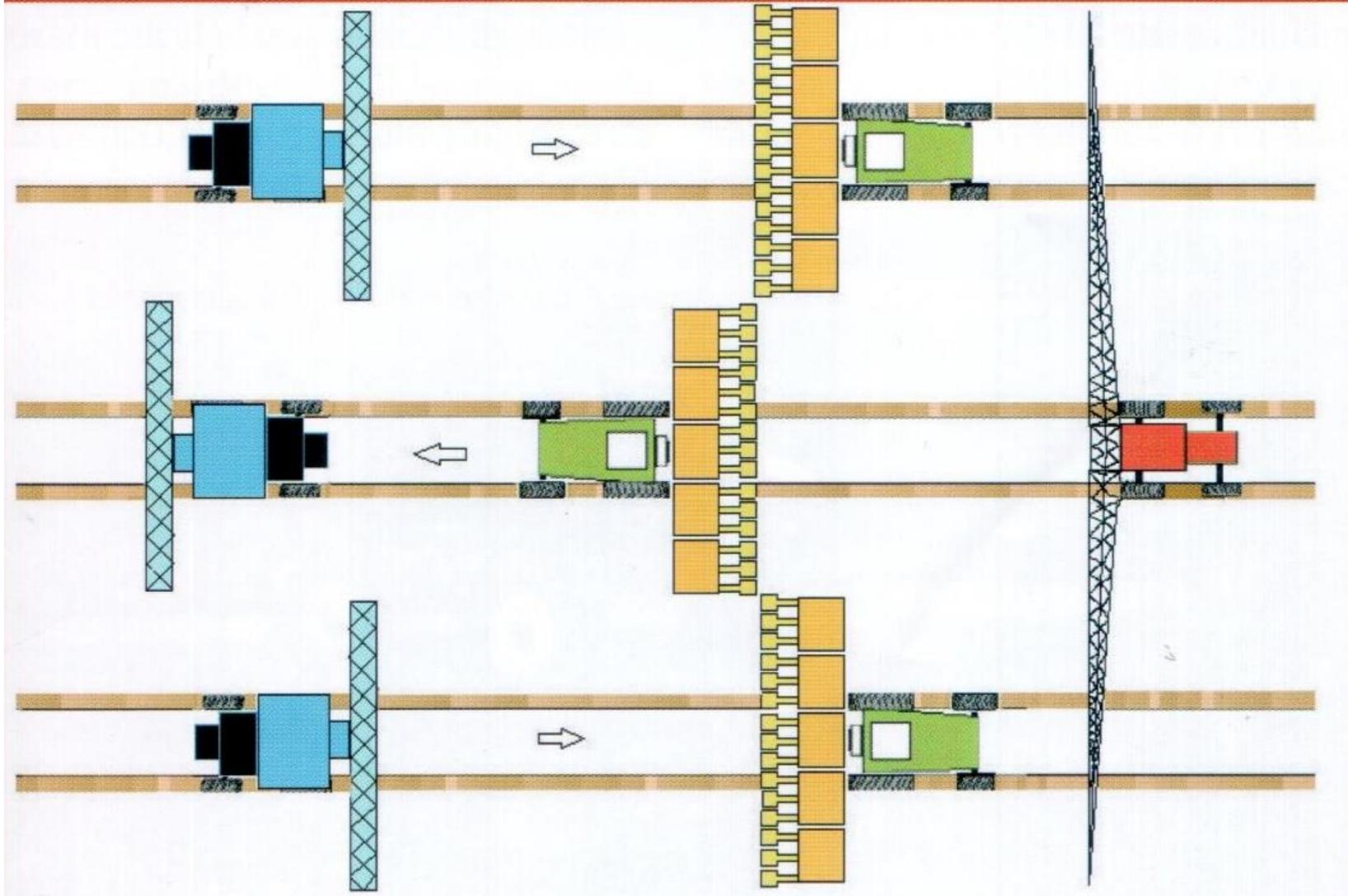
Colhedora
Trator e semeadora
Pulverizador
Soma de tráfego

14%

6 vezes menos tráfego que o Preparo Convencional e 3 vezes menos que o Plantio Direto !

Revista Plantio Direto, edição 110, março/abril de 2009.

Como funciona o sistema de Controle de Tráfego de Máquinas



F. Faggion, 2018

Canteiro de Cana Otimizado



Coleti, 2009



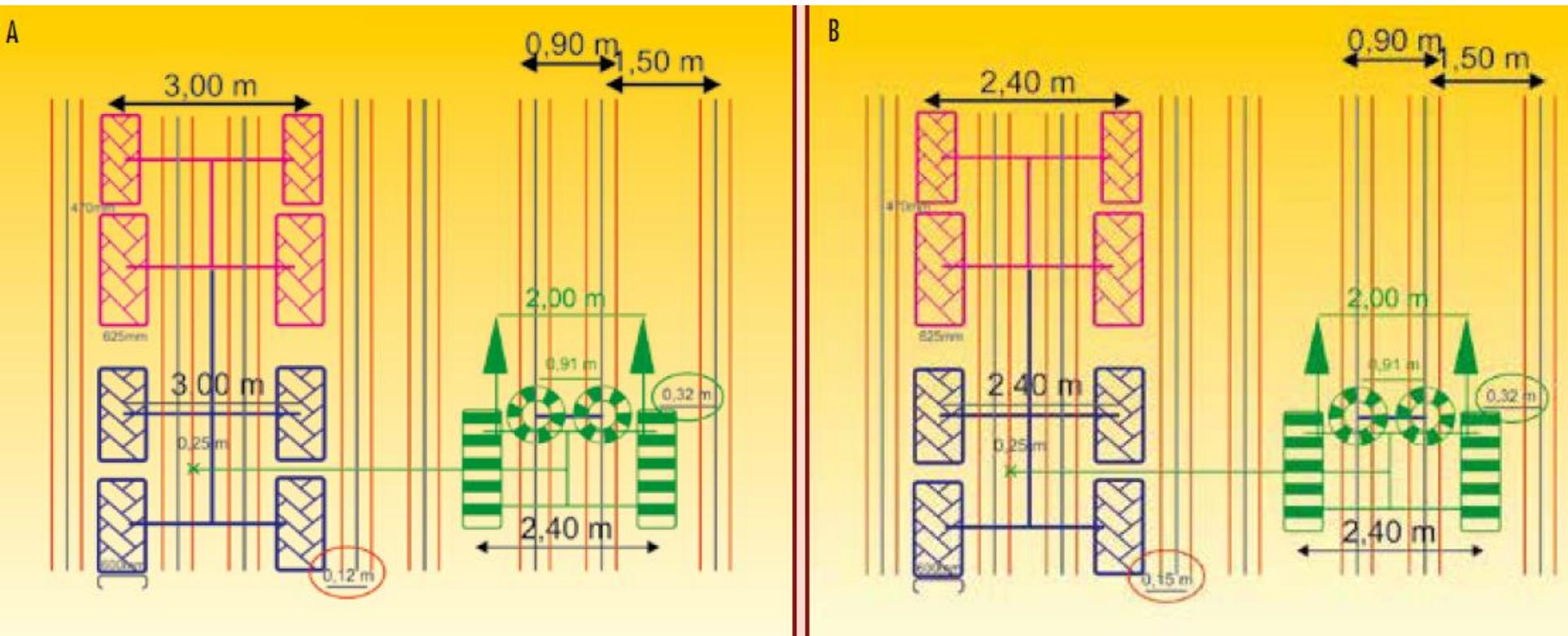


Figura 2 - Distância do afastamento de segurança entre colhedora de duas linhas e trator + transbordo em espaçamento duplo alternado de 0,9 X 1,50 m com conjunto transbordo de bitola de 3,0 m (a) e conjunto trator + transbordo de bitola de 2,40 m (b). Fonte: Belardo (2016b)

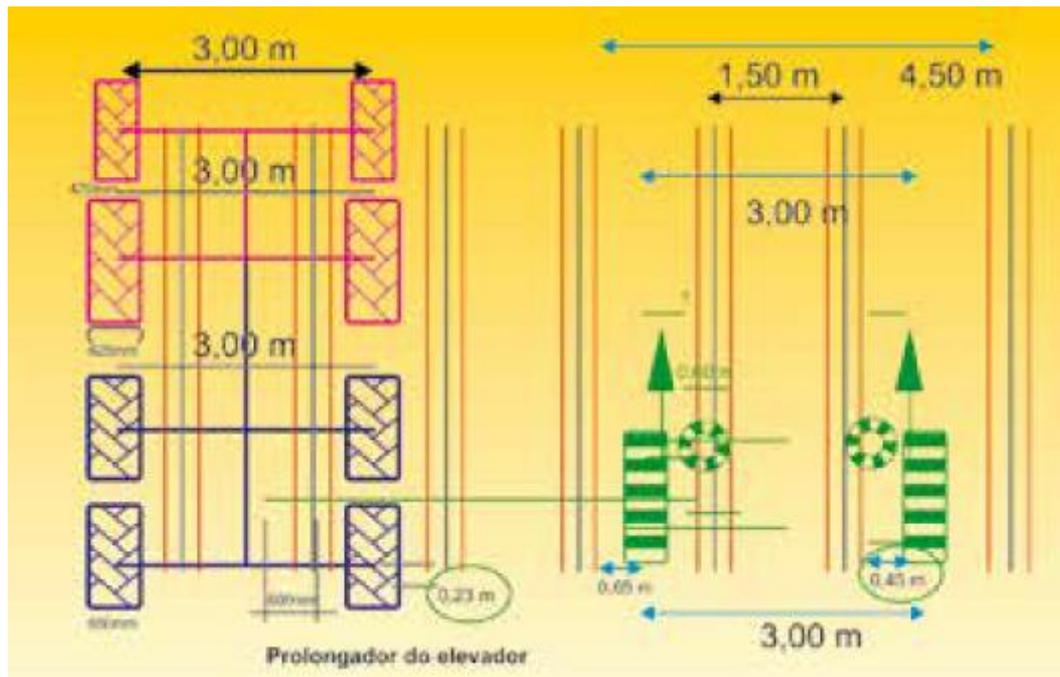


Figura 3 - Distância do afastamento de segurança entre colhedora de duas linhas e trator + transbordo em espaçamento simples de 1,50m. Fonte: Belardo (2016c)

O que acontece quando você opera com sistema de direção automática e sente sono....



Farmers Weekly - <http://www.fwi.co.uk>
07/06/2007









Tecnologia de manobra autônoma de cabeçadeiras

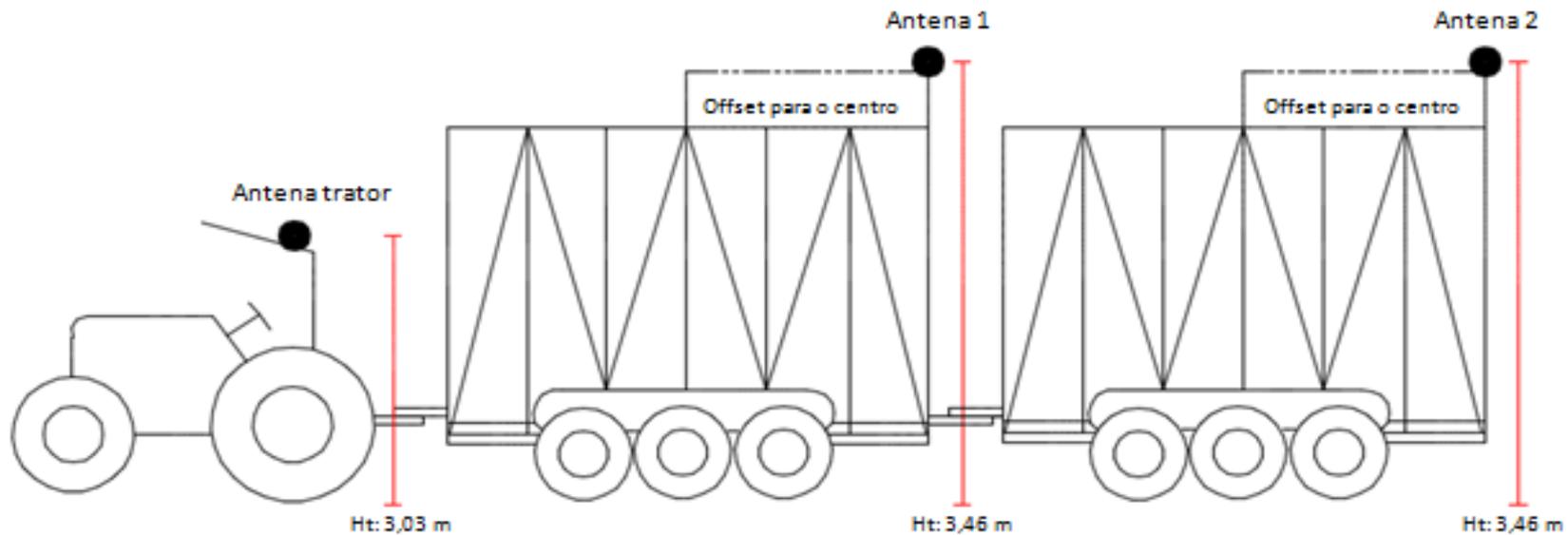


iTEC Pro



O desafios da direção automática em máquinas acopladas e rebocadas...

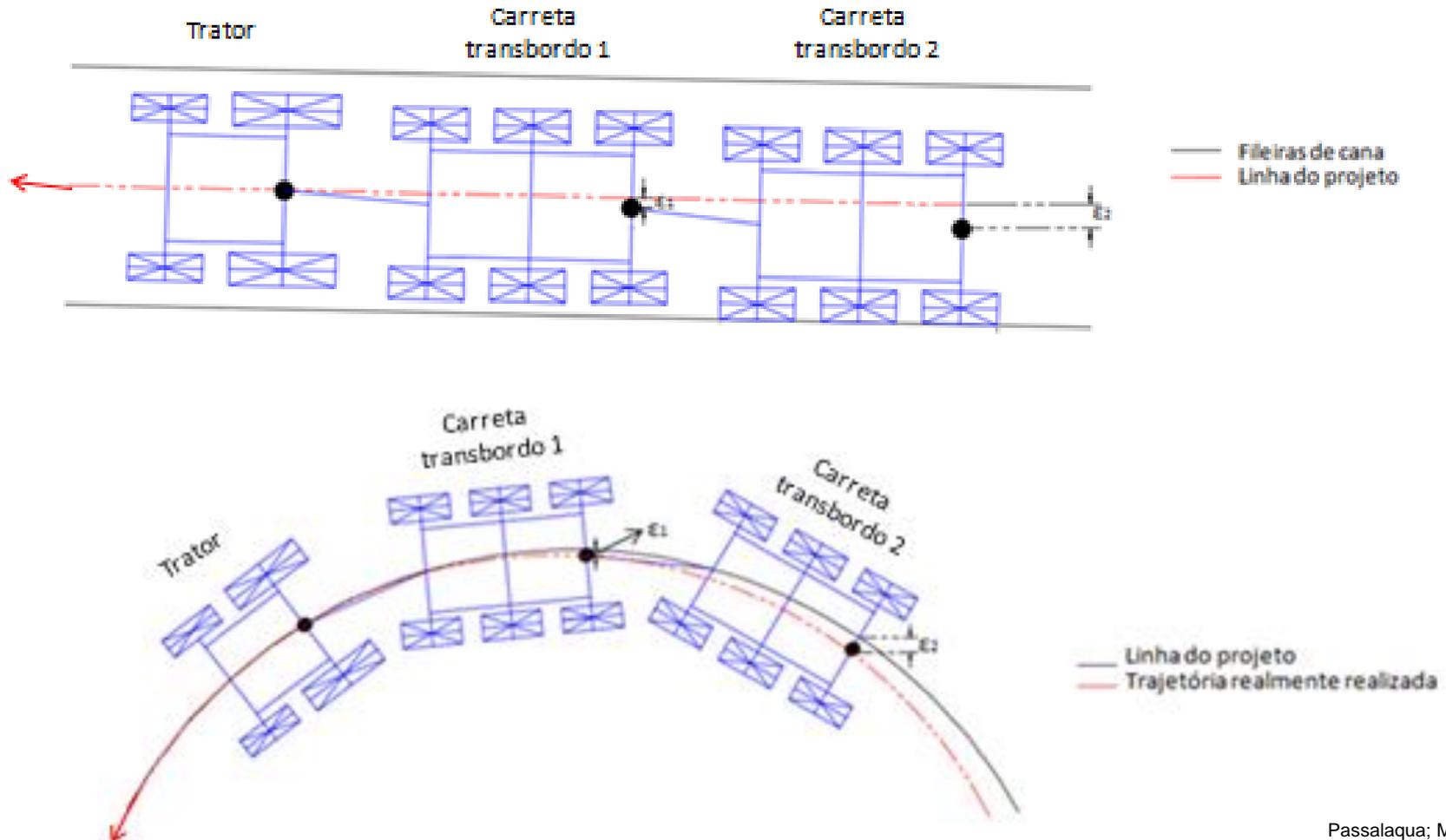




Passalaqua; Molin (2018)

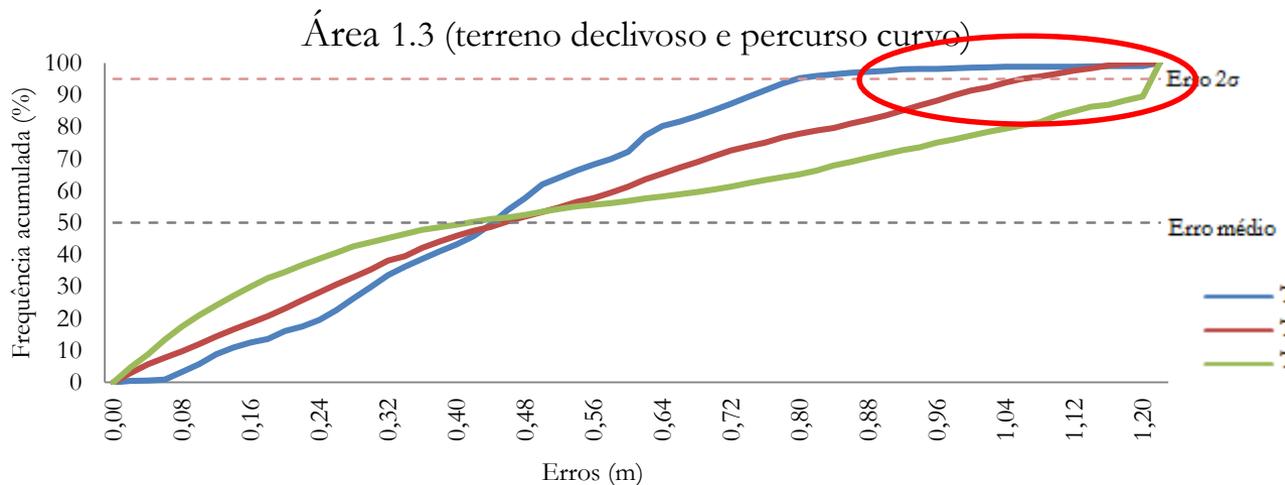
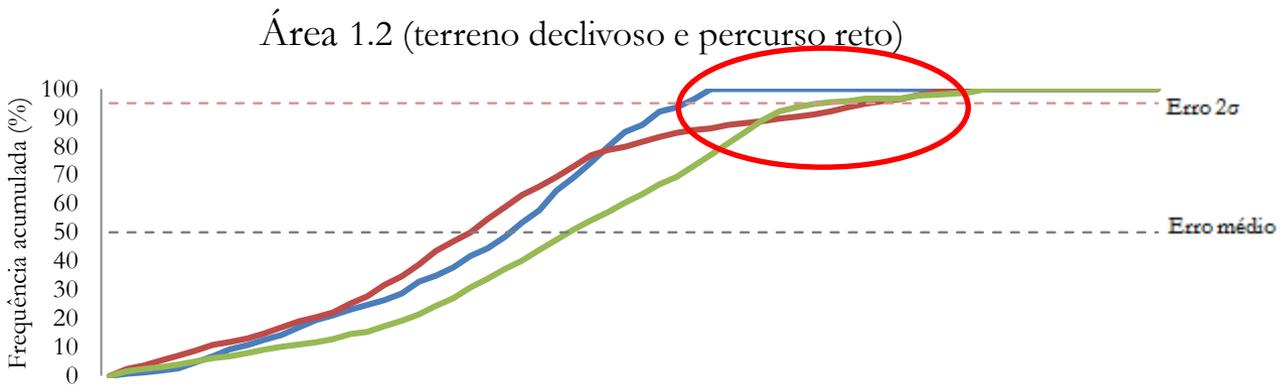
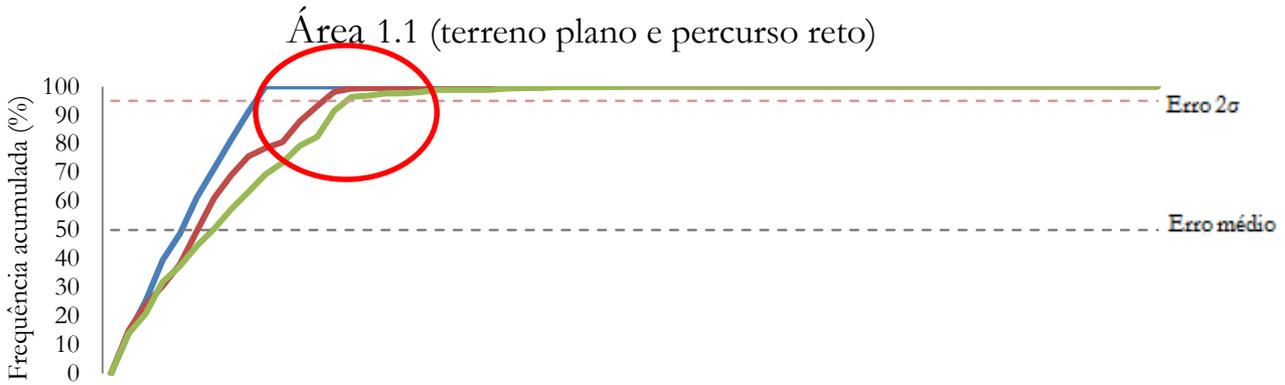
MATERIAL E MÉTODOS

○ Comportamento das carretas em relação a trajetória



Passalaqua; Molin (2018)

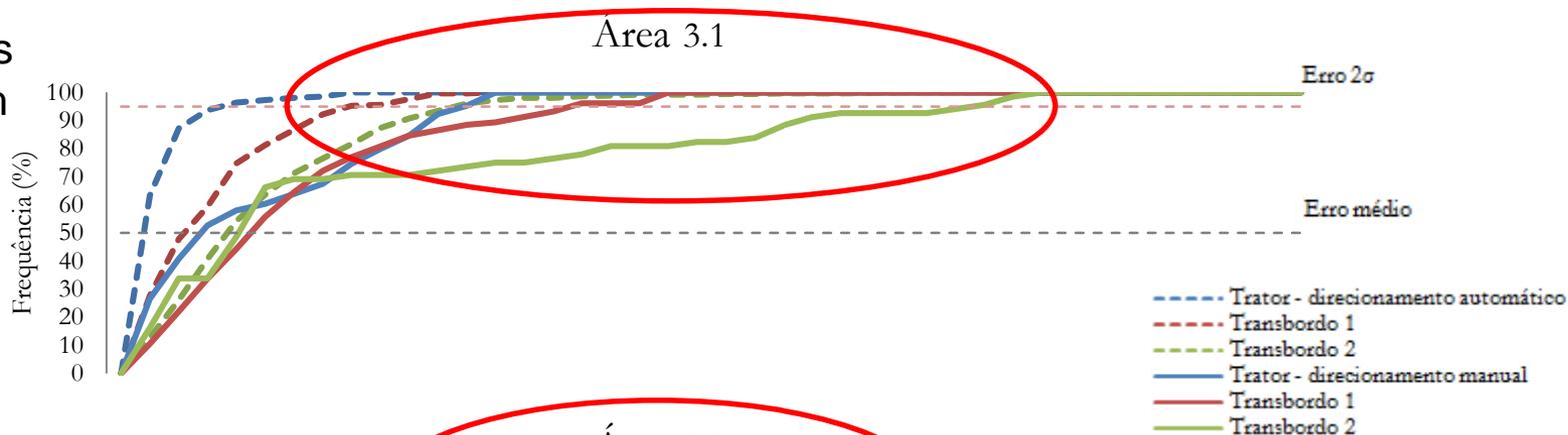
Percursos retos e curvos, sem DA



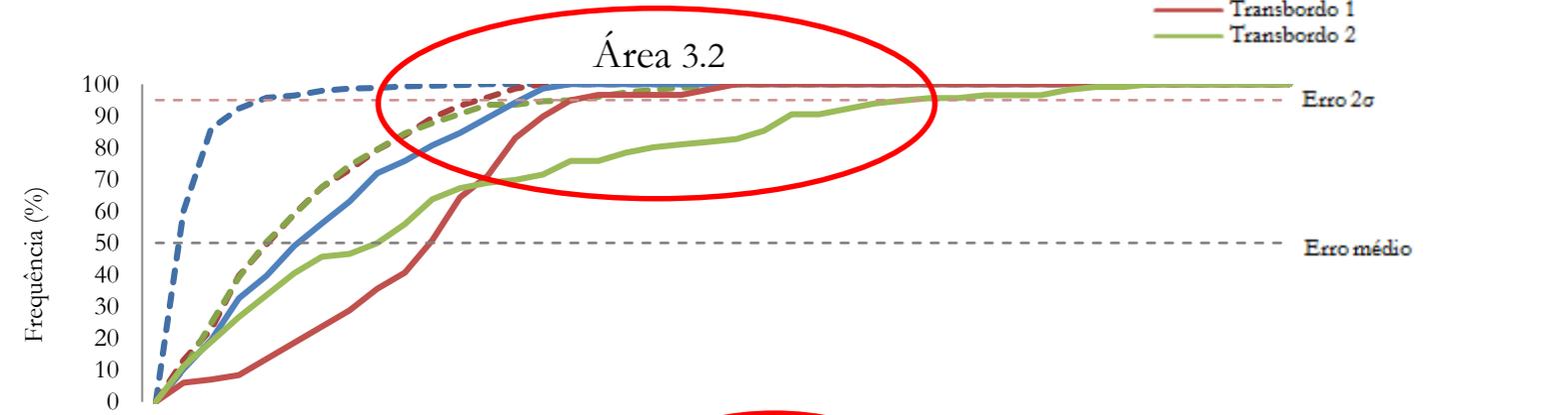
Passalaqua; Molin (2018)

Percursos retos inclinados, com e sem DA

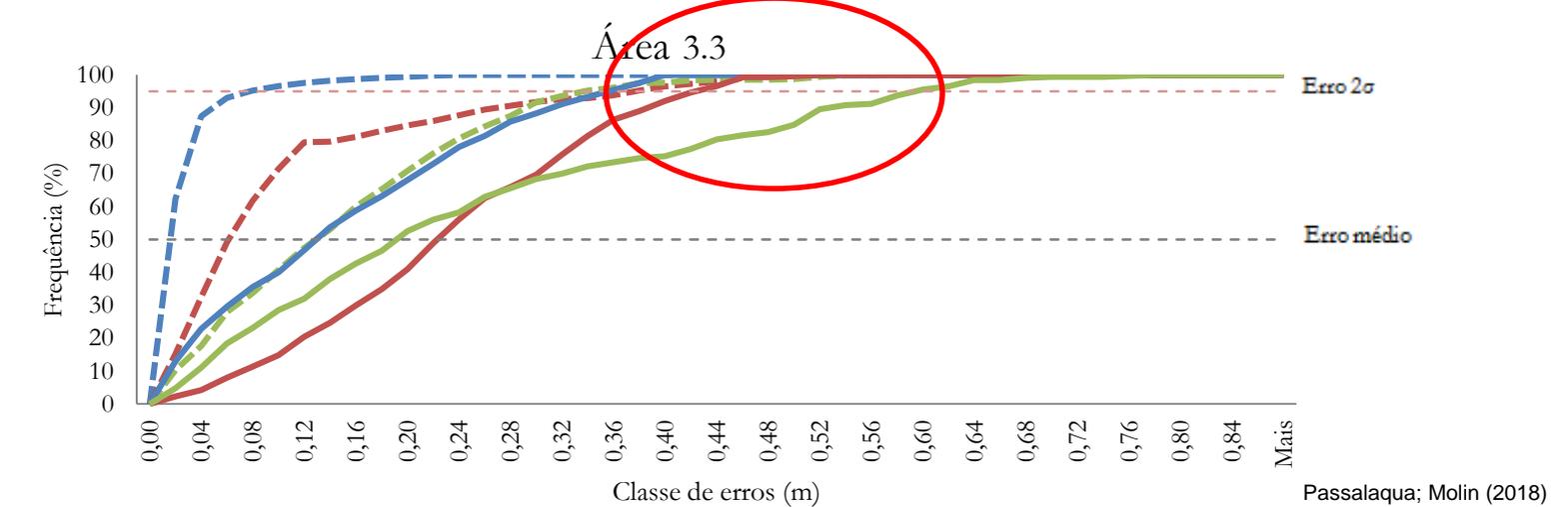
5%



7%



8%



Passalacqua; Molin (2018)

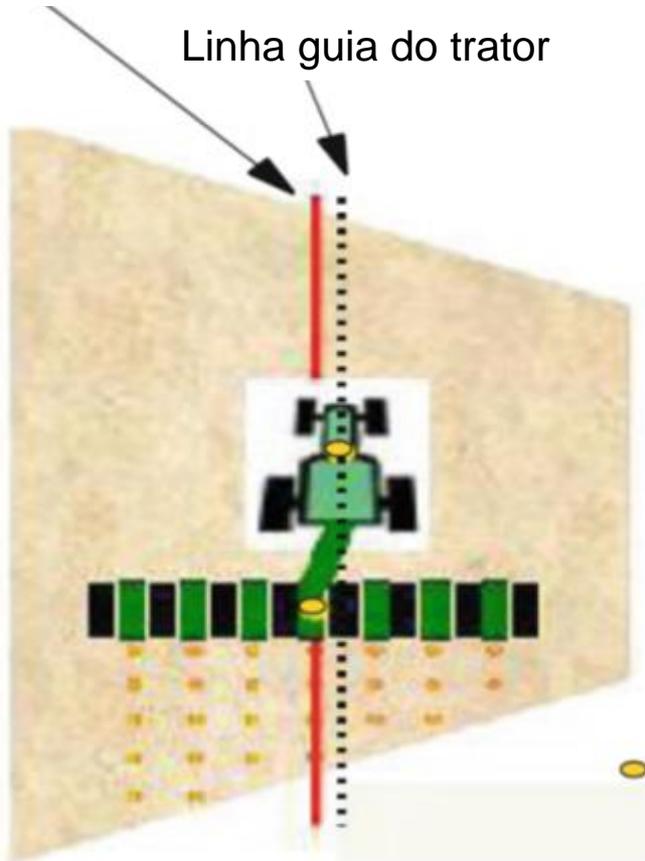


Sistema de direção automática para máquinas e implementos

Passivo

Linha guia do implemento

Linha guia do trator



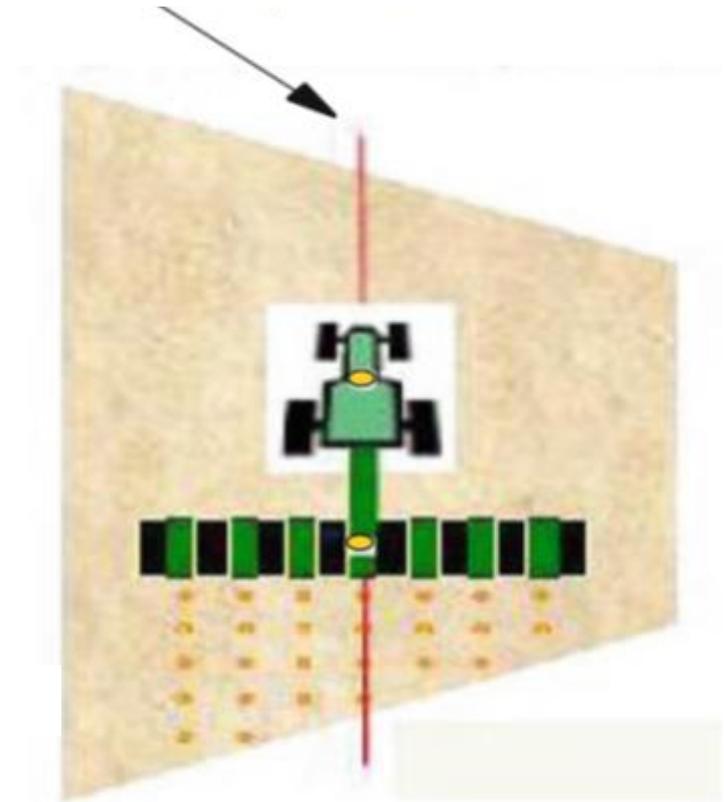
Antena GNSS

Direção da inclinação

Adaptado de Heege (2013)

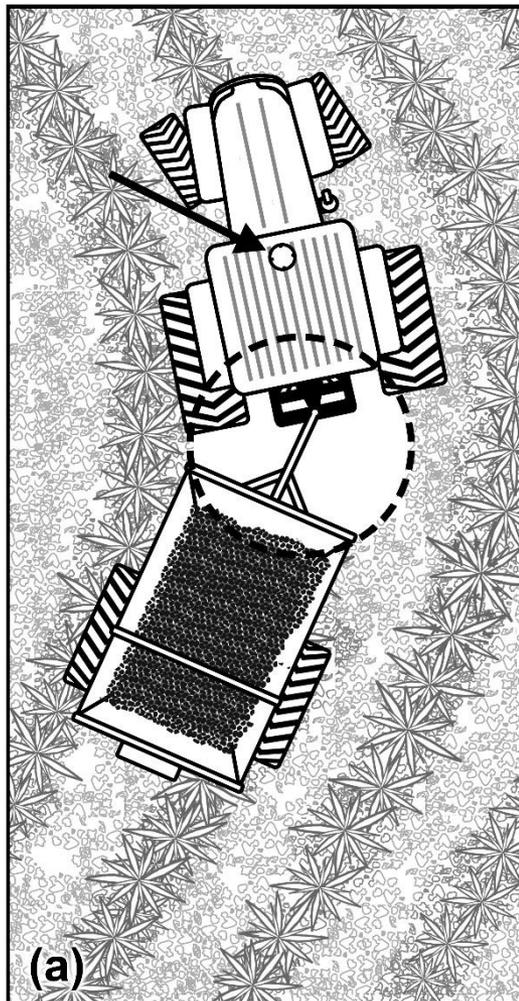
Ativo

Mesma linha guia para o trator e implemento

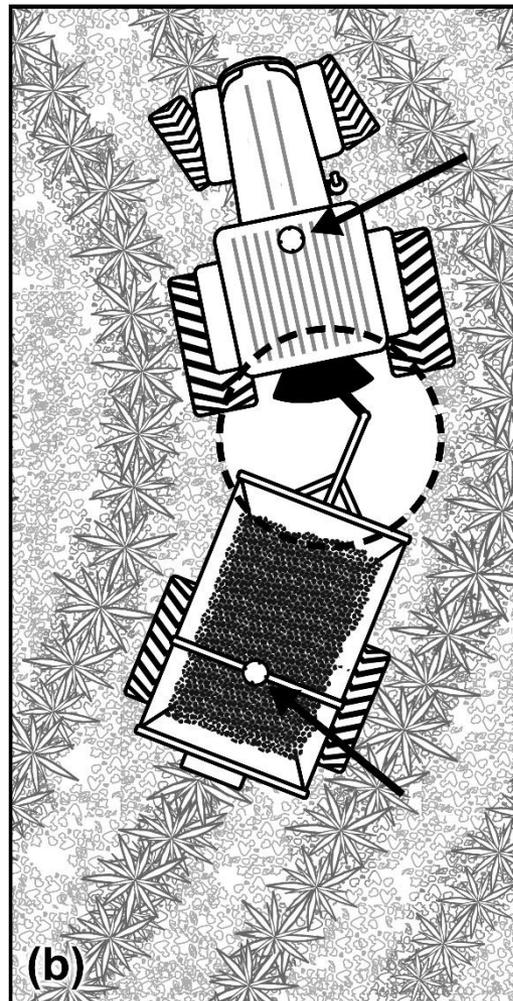


Direção da inclinação

Sistema de direção automática para máquinas e implementos



Equipamento de arrasto sem sistema de direção automática



Equipamento de arrasto com sistema de direção automática ativo

Sistema de direção automática ativo para máquinas



Agrishow, 2009

Atuadores hidráulicos lineares direcionando a barra de tração

Sistema de direção automática ativo para máquinas

Disco esterçante



ANTENA ZEPHYR



A antena Zephyr é montada no implemento para fornecer precisão de 2,5 cm ao NavController II (montado no implemento) em repetidas passagens ano após ano.

AgGPS NAVCONTROLLER II



O NavControl T3 de terreno instruções de usando inform tela integrada RTK da antena implemento.

www.orthman.com



Trimble

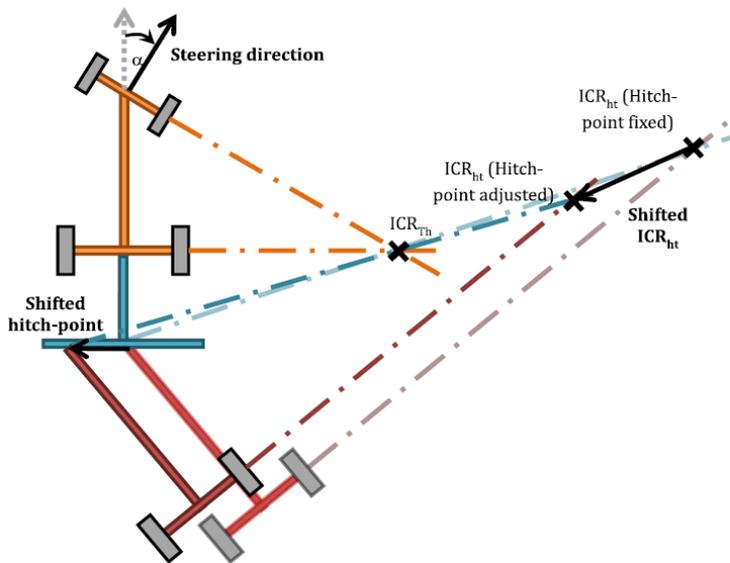
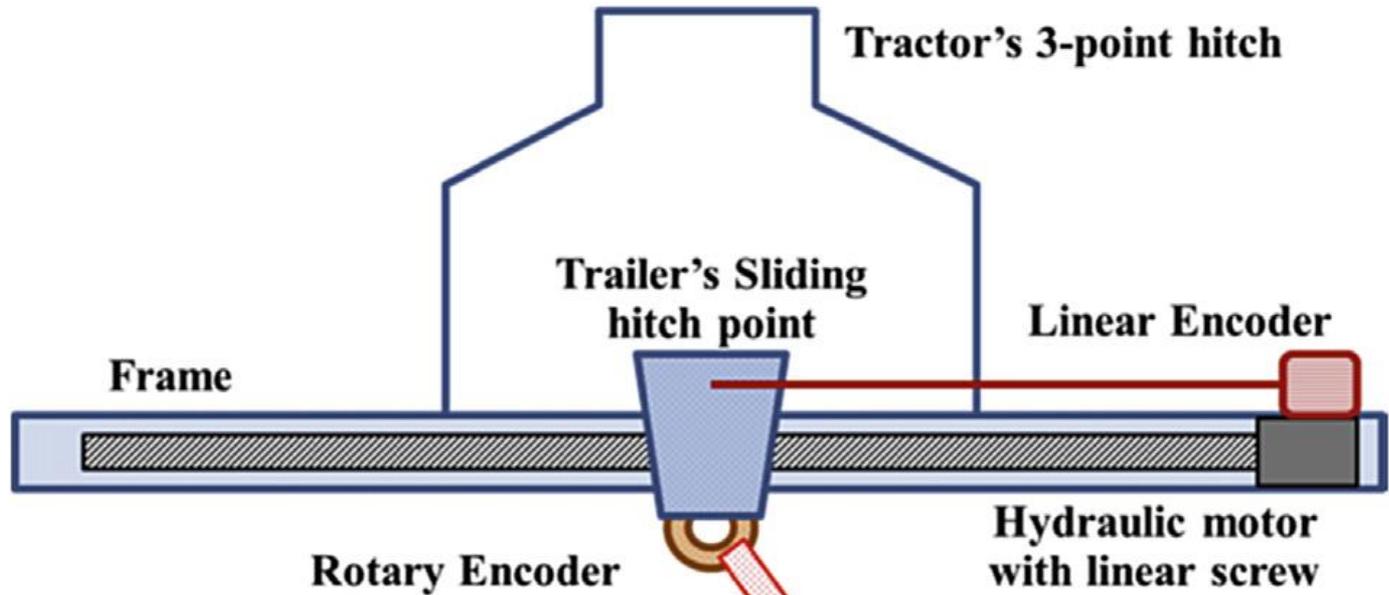
Sistema de direção automática ativo para máquinas



www.JohnDeere.com



Barra de tração com atuadores hidráulicos

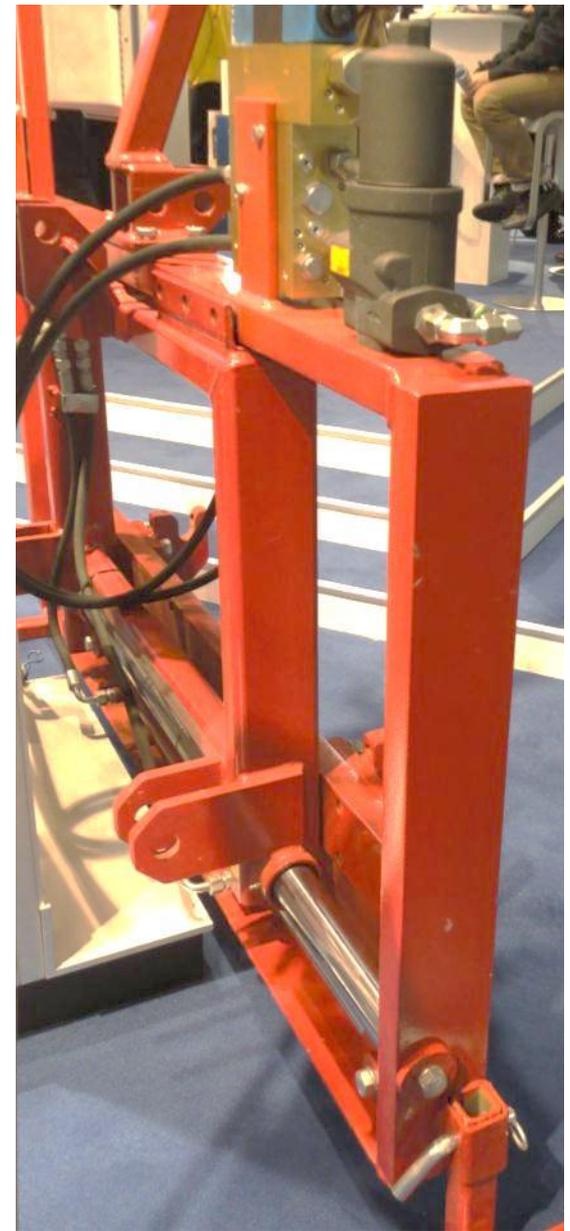


Thanpattranon et al (2016)

Rodado traseiro de semeadora esterçante



www.CaseIH.com



Agritechnica 2011



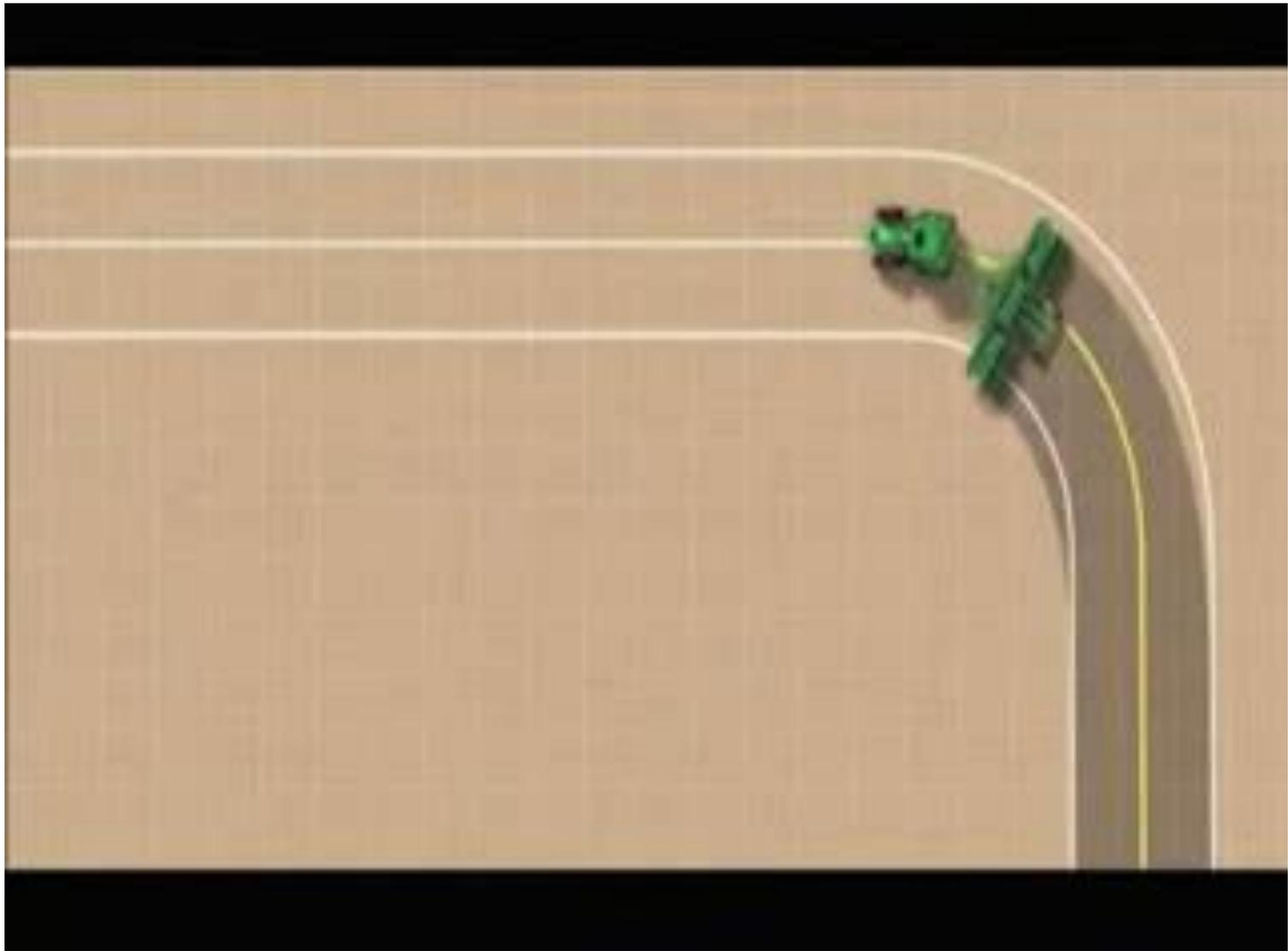
Agritechnica2015



Sistema Passivo



Sistema Passivo

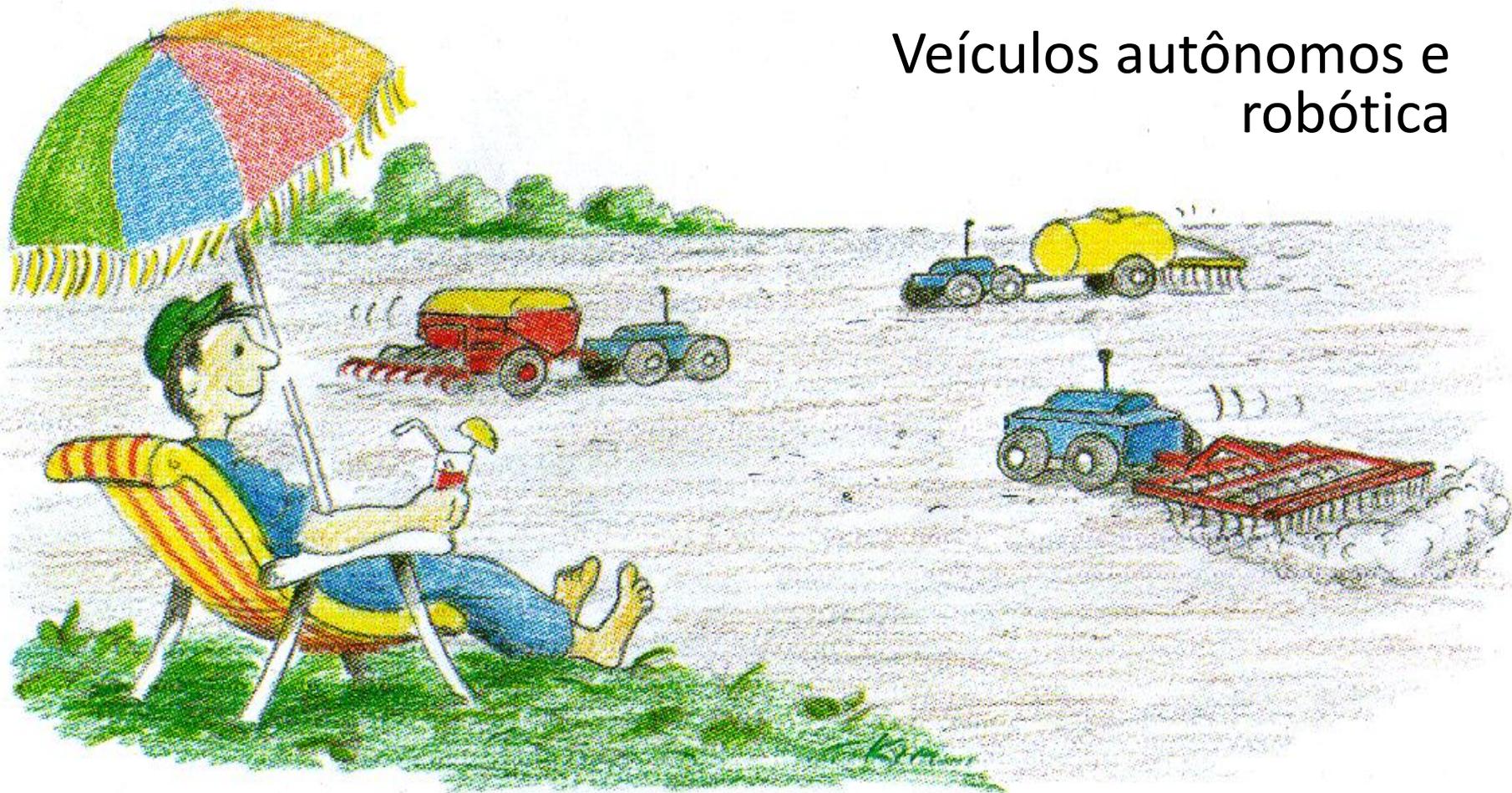


SÍNTESE

- Sistemas de orientação visual
 - Barras de luzes e telas com estrada virtual
- Sistemas de direção automática
 - Atuadores de volante ou de coluna
 - Receptor L1 com DGPS ou algoritmos
 - Atuadores hidráulicos
 - Receptor L1 com DGPS ou algoritmos (sem sentido prático)
 - Receptores GNSS (L1 + L2 + GLONASS) com correção via satélite
 - Receptores GNSS com correção RTK

Veículos autônomos - a próxima geração...

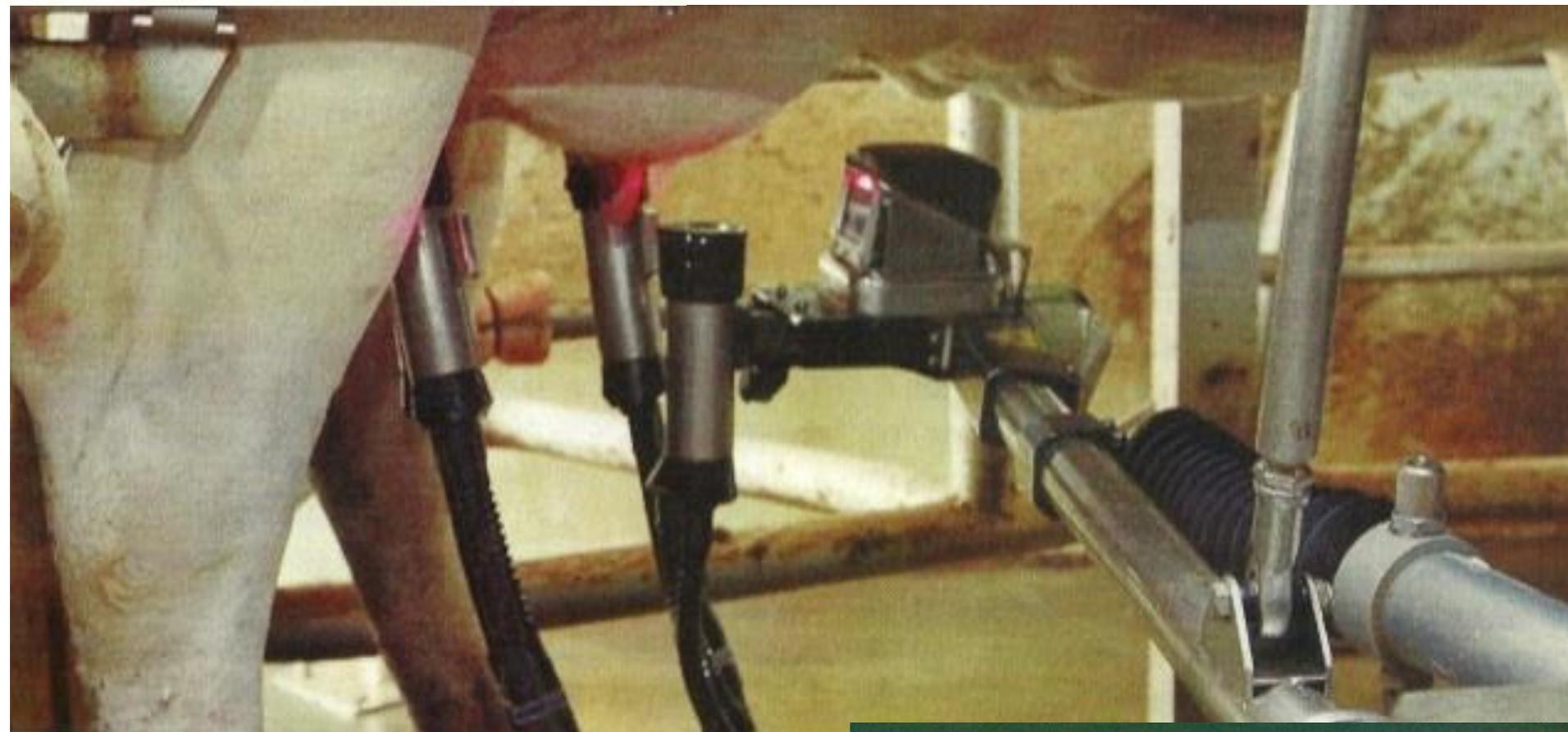
Veículos autônomos e robótica



Blackmore, 2006

A primeira fazenda robotizada da América Latina

Armando Rabbers é o único produtor latino-americano que utiliza essa tecnologia na produção de leite



Boletim Informativo do Sistema FAEP n° 1272 | Semana de 25 a 31 de agosto de 2014 | 7







<https://my.hs-osnabrueck.de/ecs/fileadmin/users/40/upload/publikationen/BoniRob.pdf>

BoniRob with Penetrometer App during field trails in the Netherlands

Scholz & Ruckelshausen (2014)

Gestão com redução de escala

■ Agricultura convencional

Talhão

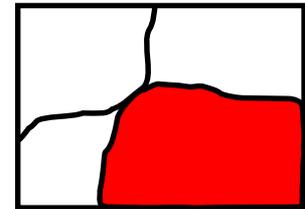
Tratamento uniforme



■ Agricultura de precisão

Sub-talhão (ou pixel)

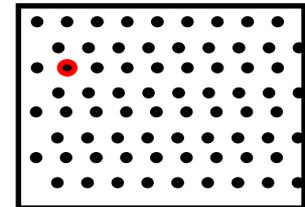
Tratamento localizado



■ Tratamento individualizado por planta

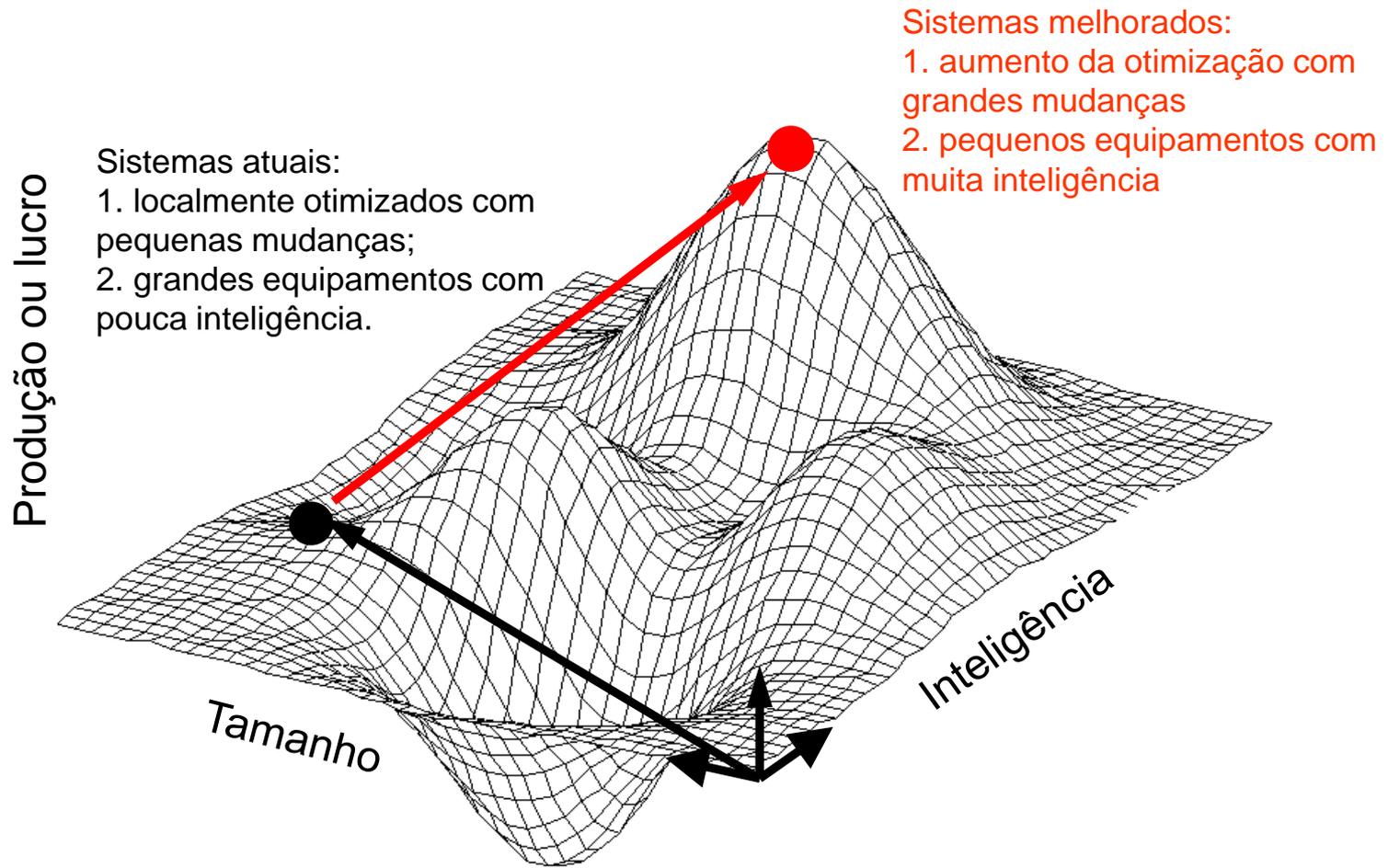
Planta individual

Dose ou ação individual



Blackmore (2006)

Otimização de sistemas complexos



Blackmore (2006)

www.johndeere.com



Wageningen,
2009



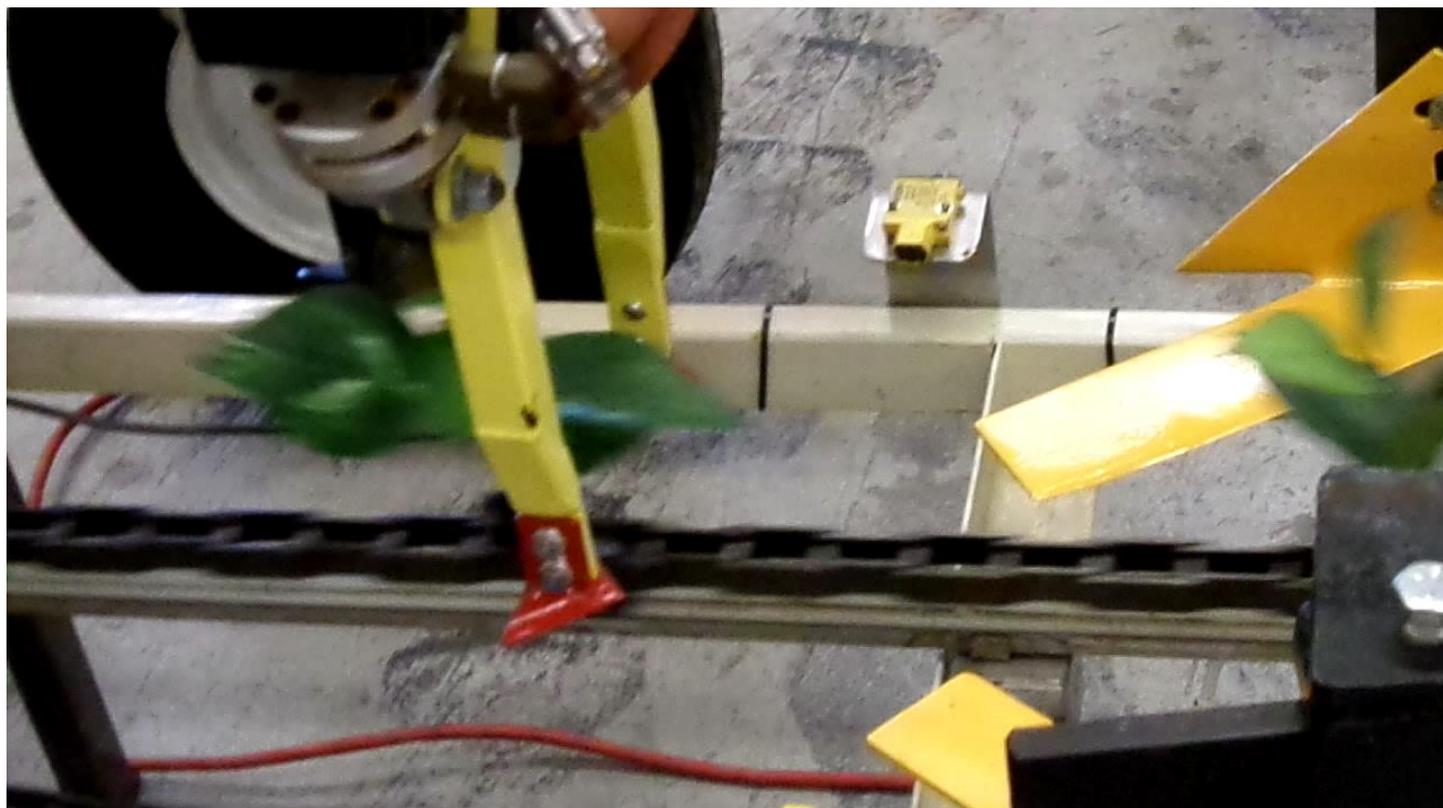
Wageningen,
2009



Agrishow 2013

Agrishow 2011







Capina robotizada



Smaller single bed Robocrop InRow Weeders utilise a single camera.

Garford



Tillett and Hague Technology Ltd





Canadá, 2018



Sem trator, este robô canadense planta sozinho e estará no mercado em 2018.

<https://farmfor.com.br/posts> (2017)





https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=Bli1A_RqWeE

Medalha de Ouro – Agritechnica 2011 - Hannover



GuideConnect
AGCO Fendt, 9 C11

For the first time farmers are offered a system in which a driverless tractor on the field automatically follows another tractor driving ahead. The two vehicles communicate via radio and are steered by a high-precision GPS steering facility. The driver of the leading tractor monitors both vehicles and has full access to the operating controls of the following tractor. Running two tractors simultaneously greatly increases the productivity of the driver. The two smaller tractors can be used more flexibly than one large tractor with similar overall rating and reduces the load on the soil.

*One driver for two tractors:
Virtual Coupling.*















Volvo faz sua primeira entrega de caminhões autônomos no Brasil

Montadora entrega sete unidades do seu caminhão Volvo VM autônomo que começam a operar nas lavouras de açúcar da Usina Santa Terezinha em Maringá (PR). Durante a colheita, o veículo é capaz de “visualizar” as linhas de plantação e seguir sozinho, sem interferência direta do condutor.



Vera, a visão de futuro da Volvo

Futuretransport, 13/09/2018