

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

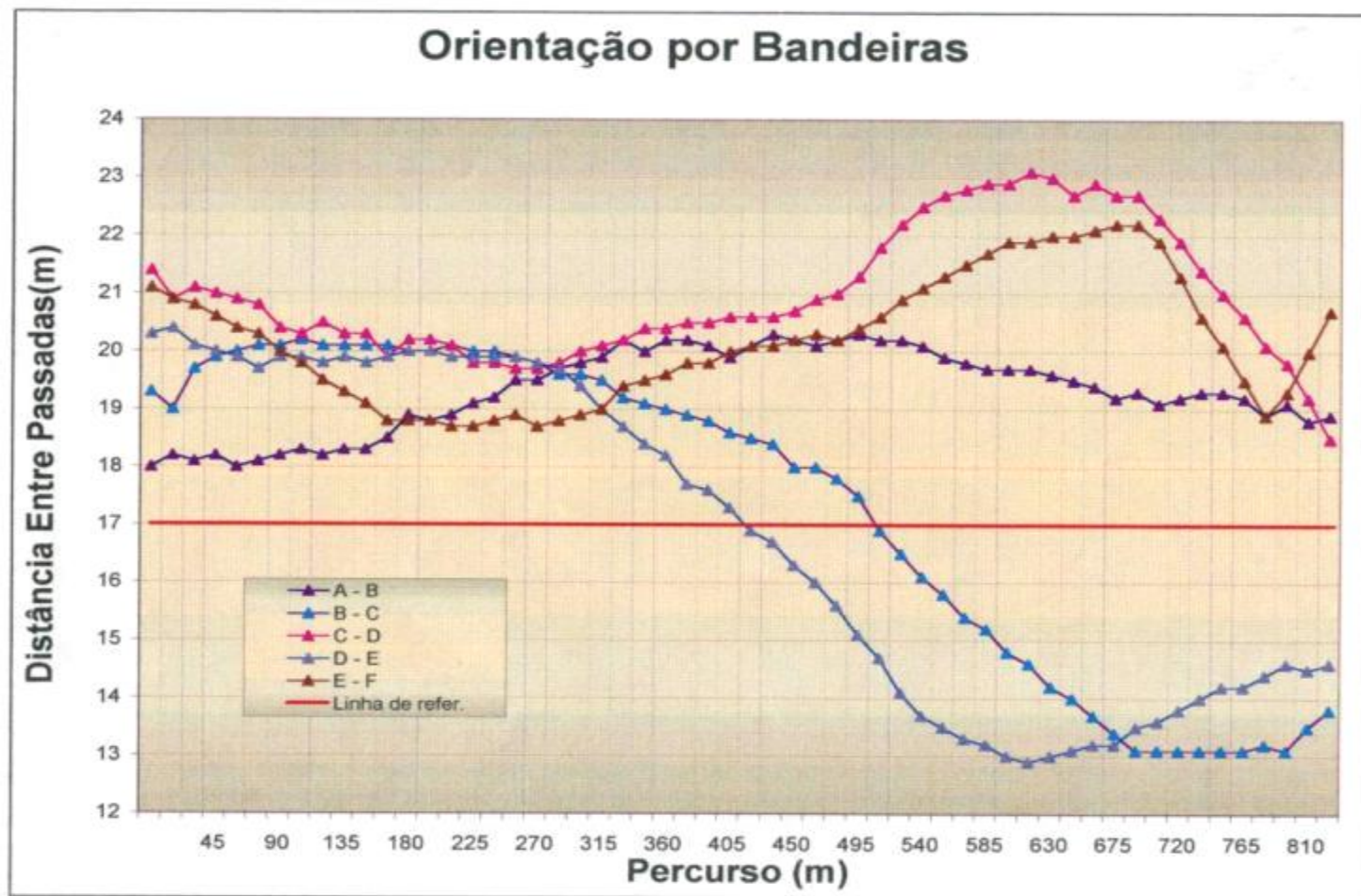
111 58'

111 58'

Registro dos
dados de
percursos

1995!!

Resultados de precisão incontestáveis...



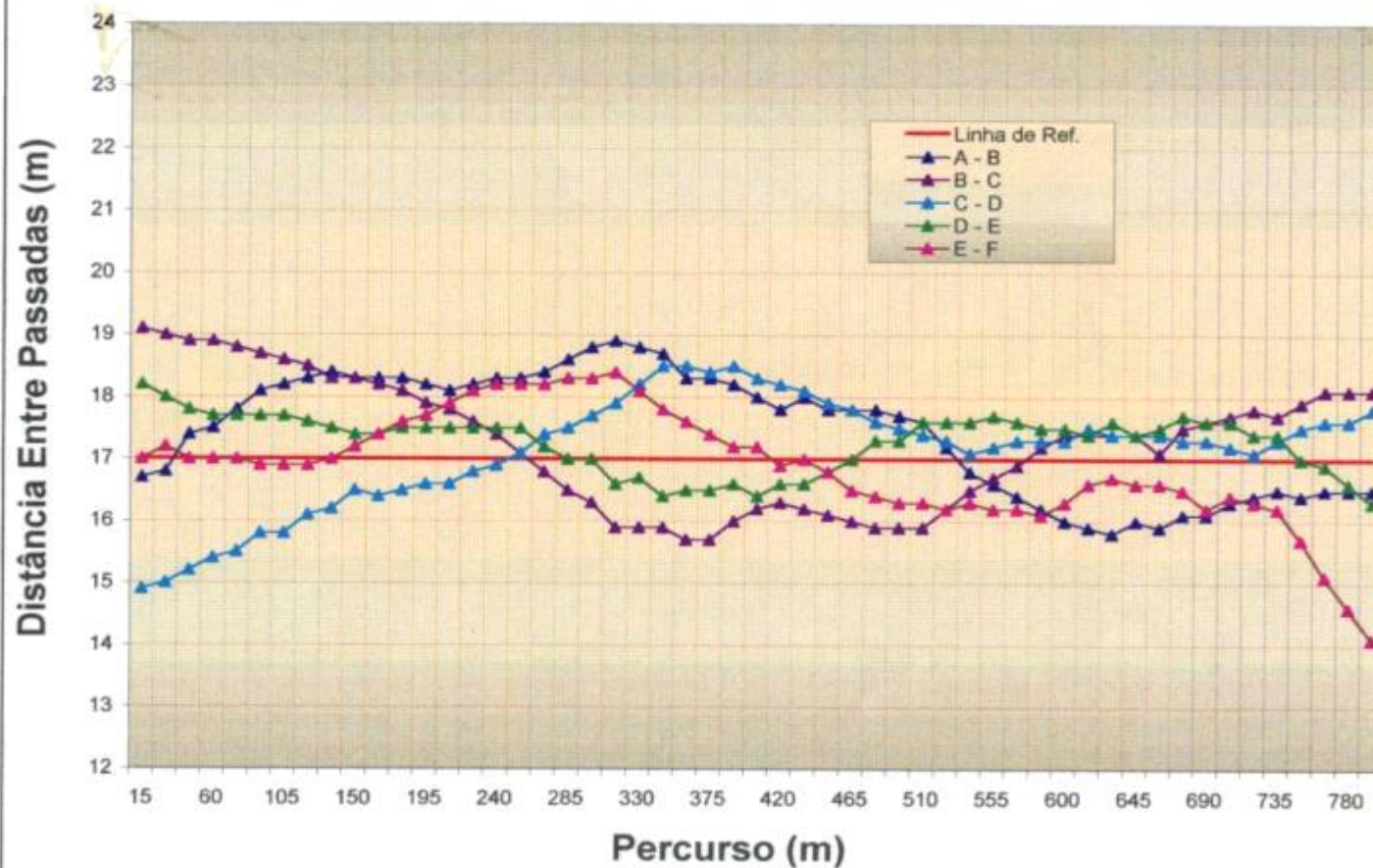
Molin, 1998

Barras de luzes em avião agrícola



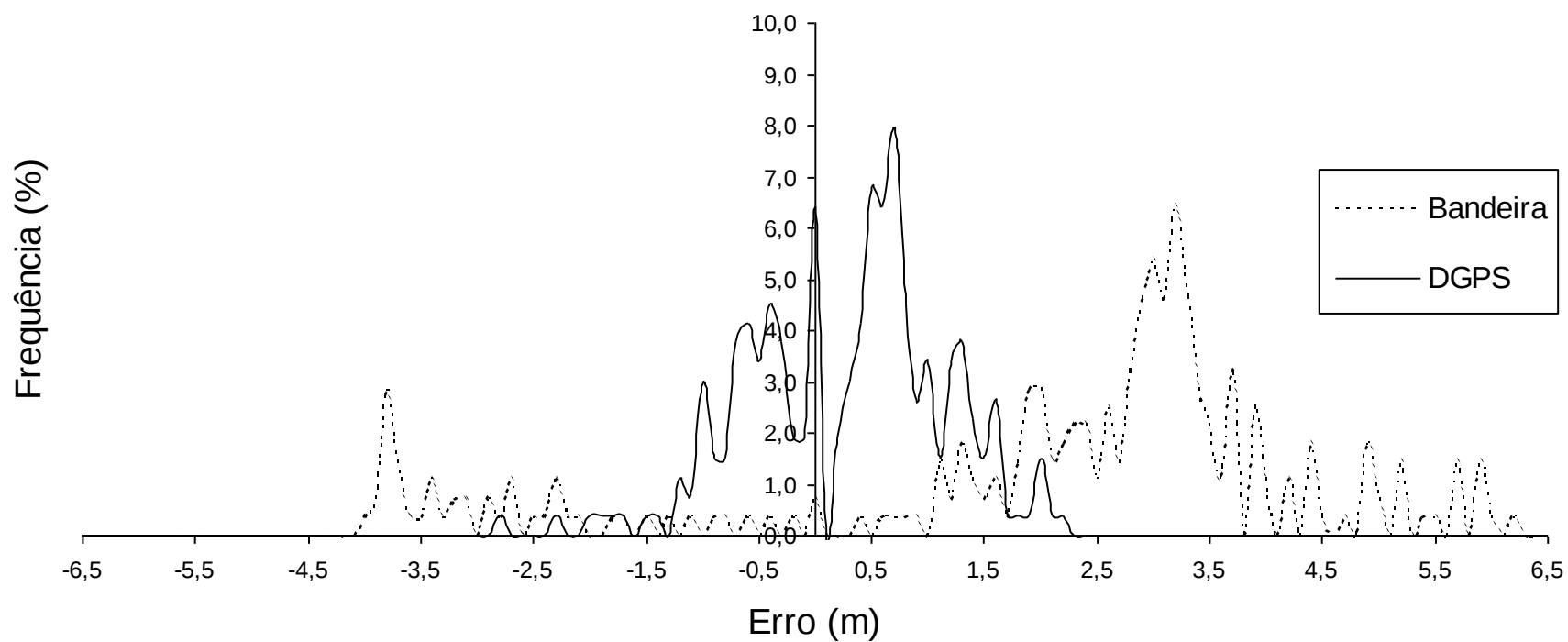
Piracicaba, 1997

Orientação por GPS



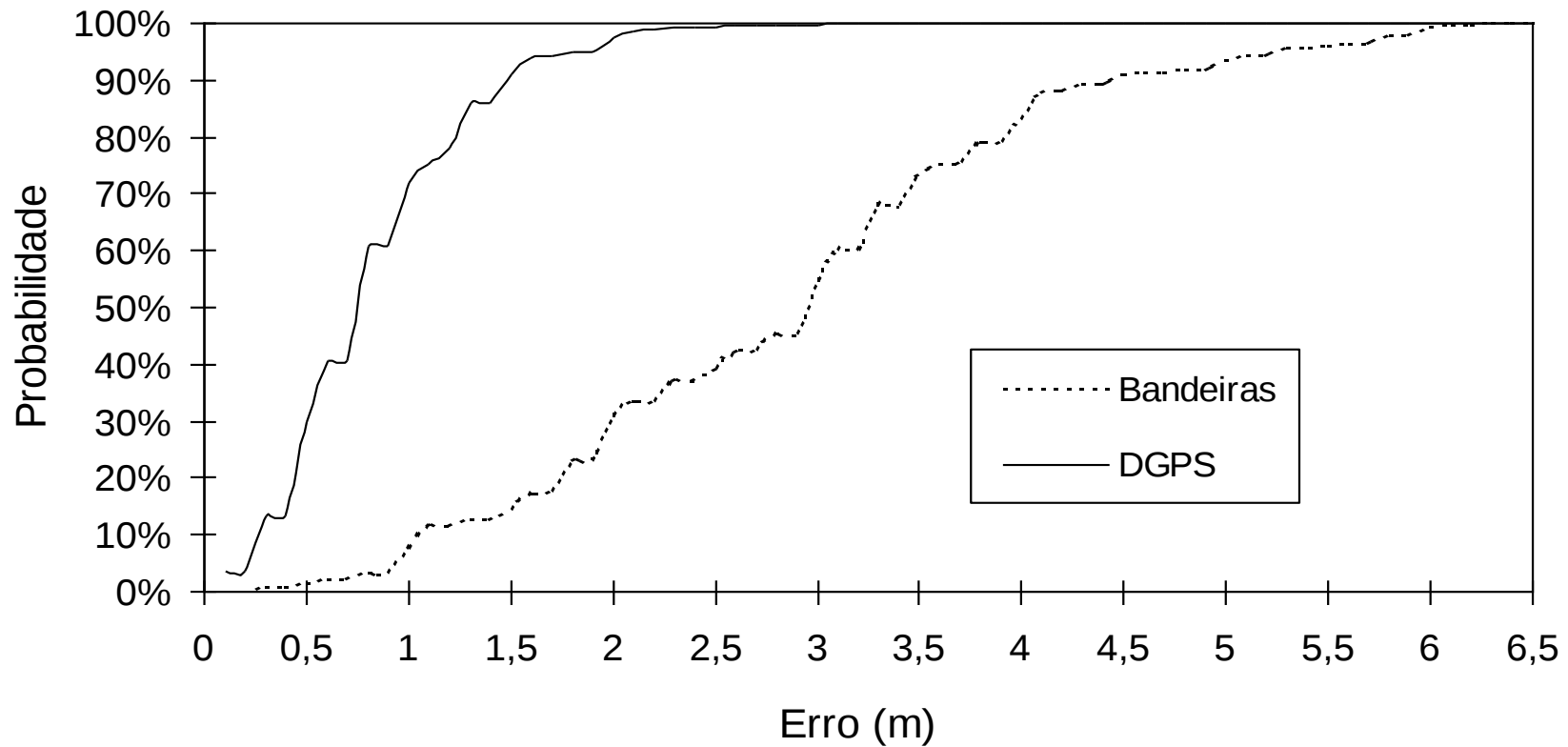
Molin, 1998

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

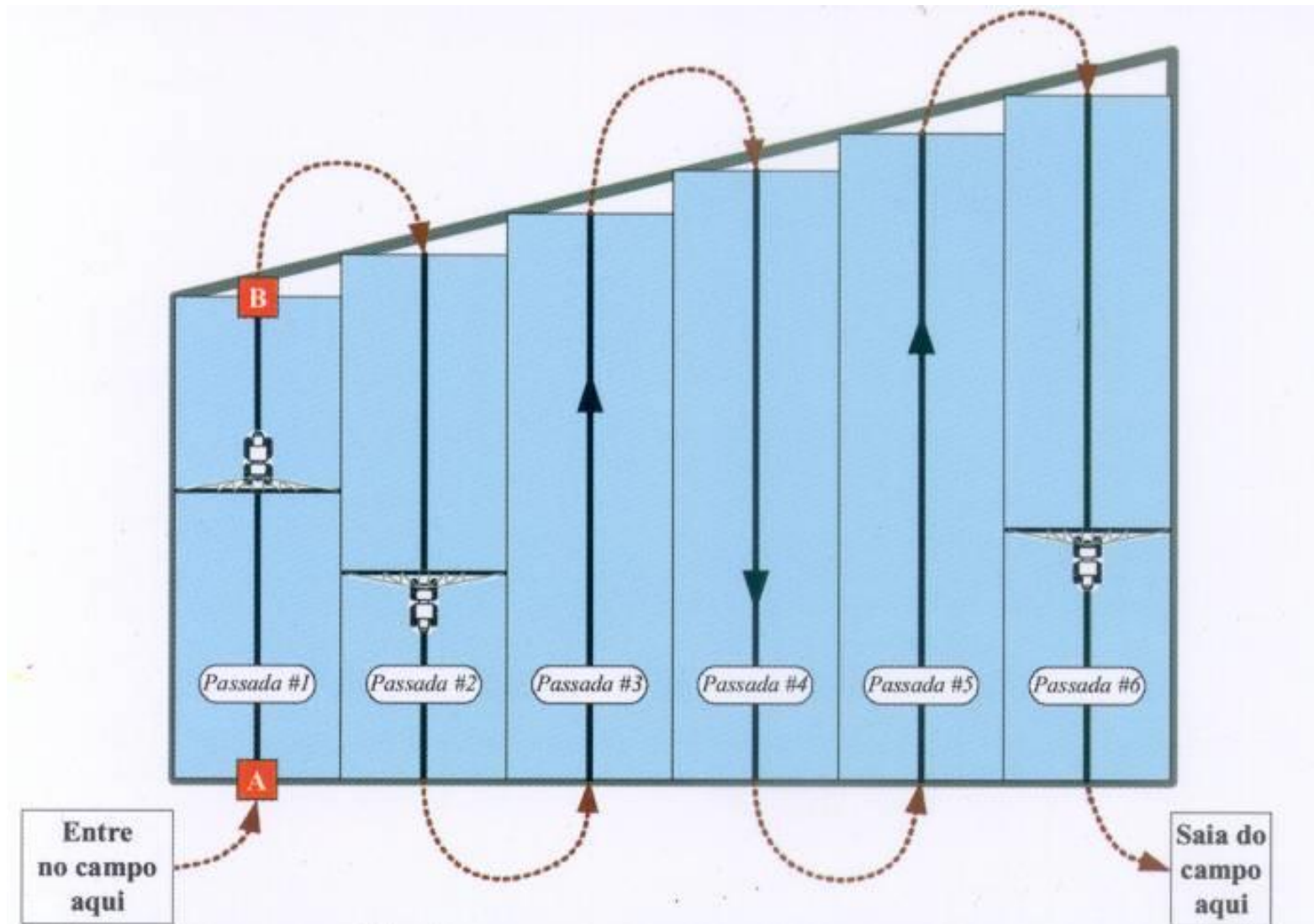


Sindag.org.br

Barra de luzes para aplicações terrestres



Solução perfeita para percursos retos



... nem tanto para curvas

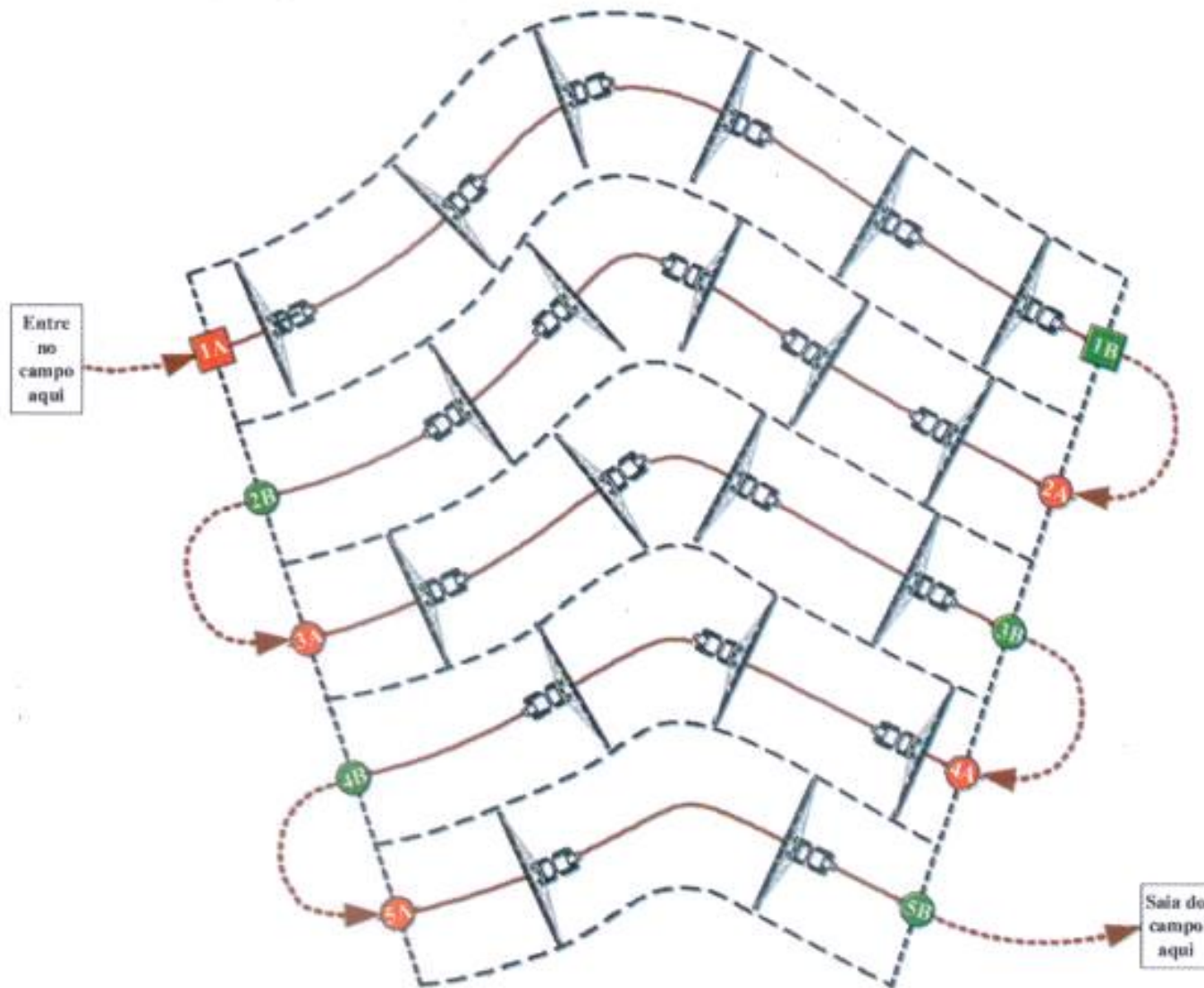
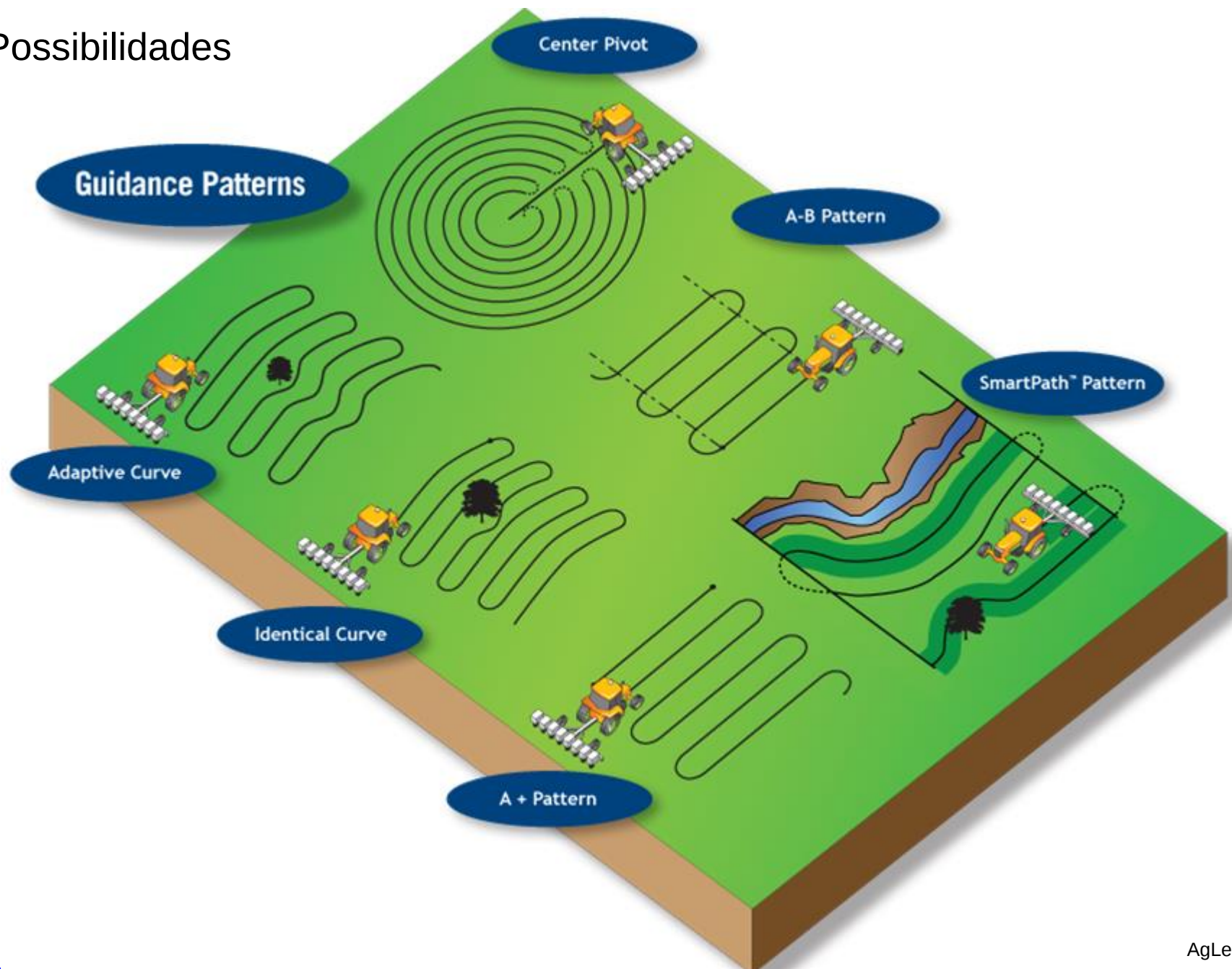


Diagrama trabalho em Contorno (curvas)

Possibilidades



AgLeader

Barra de luzes tradicional



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

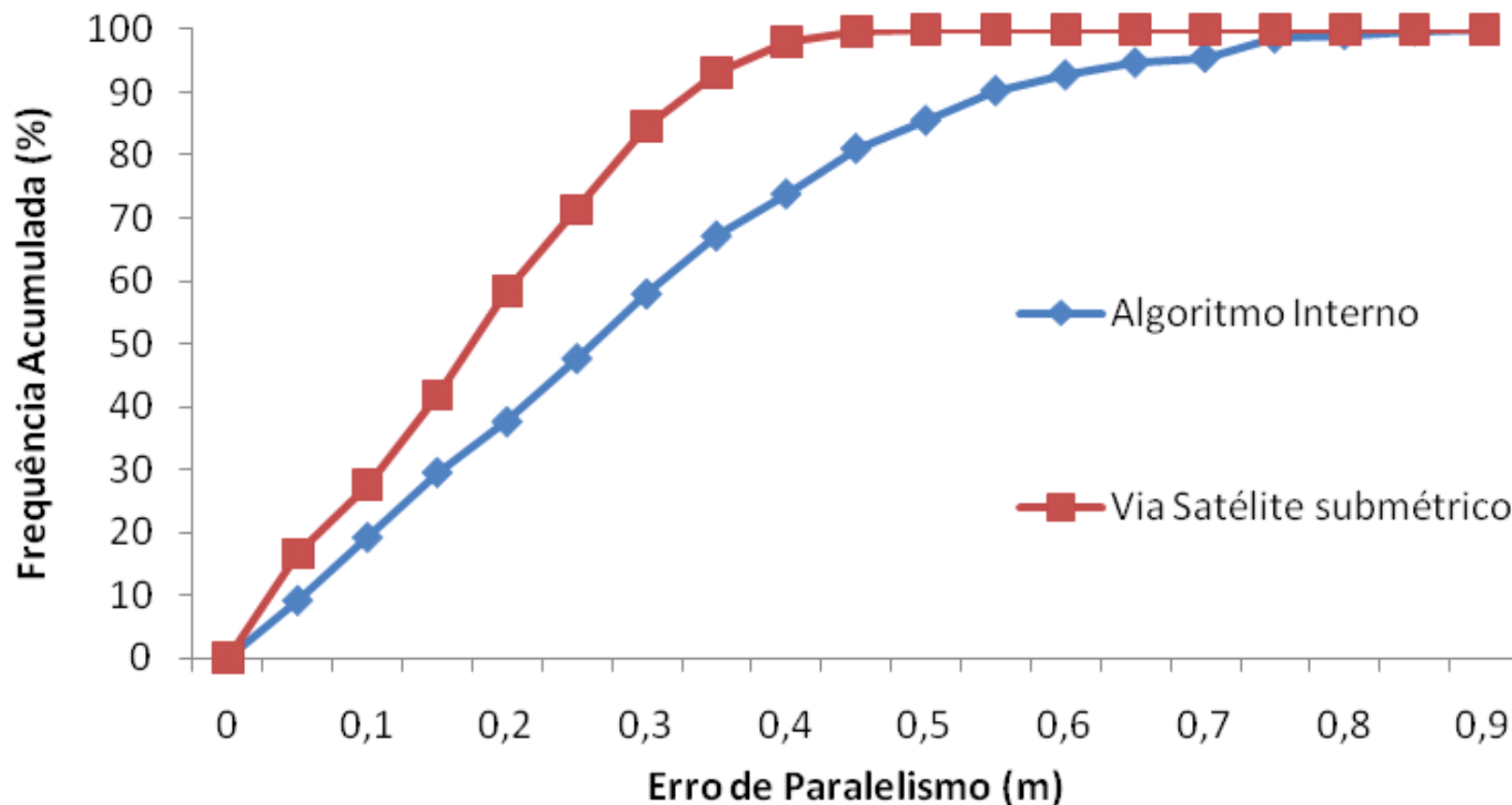




Barra de luzes (leds) com
tela auxiliar (estrada virtual)

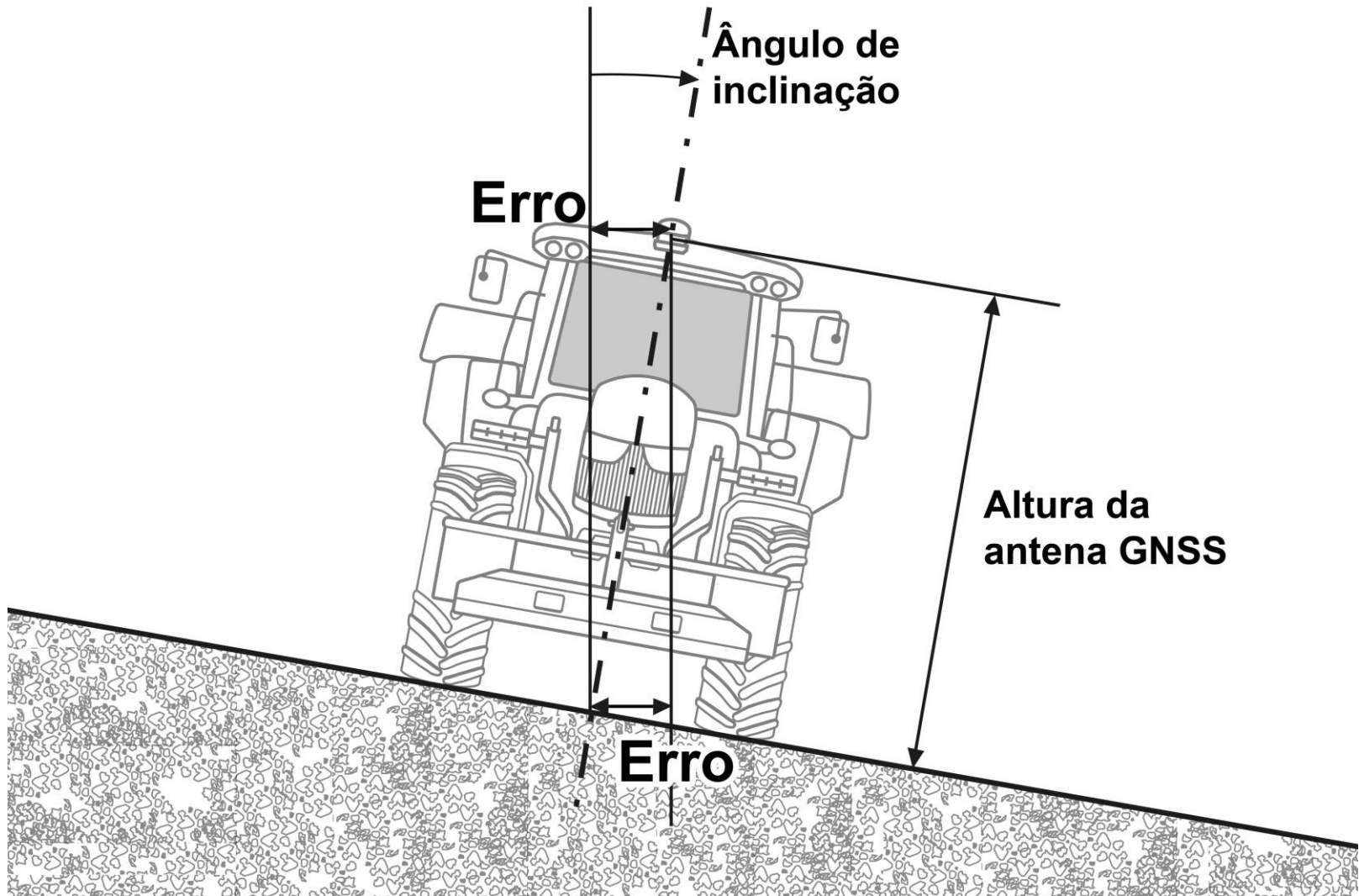


Frequência acumulada dos erros de paralelismo para barra de luzes



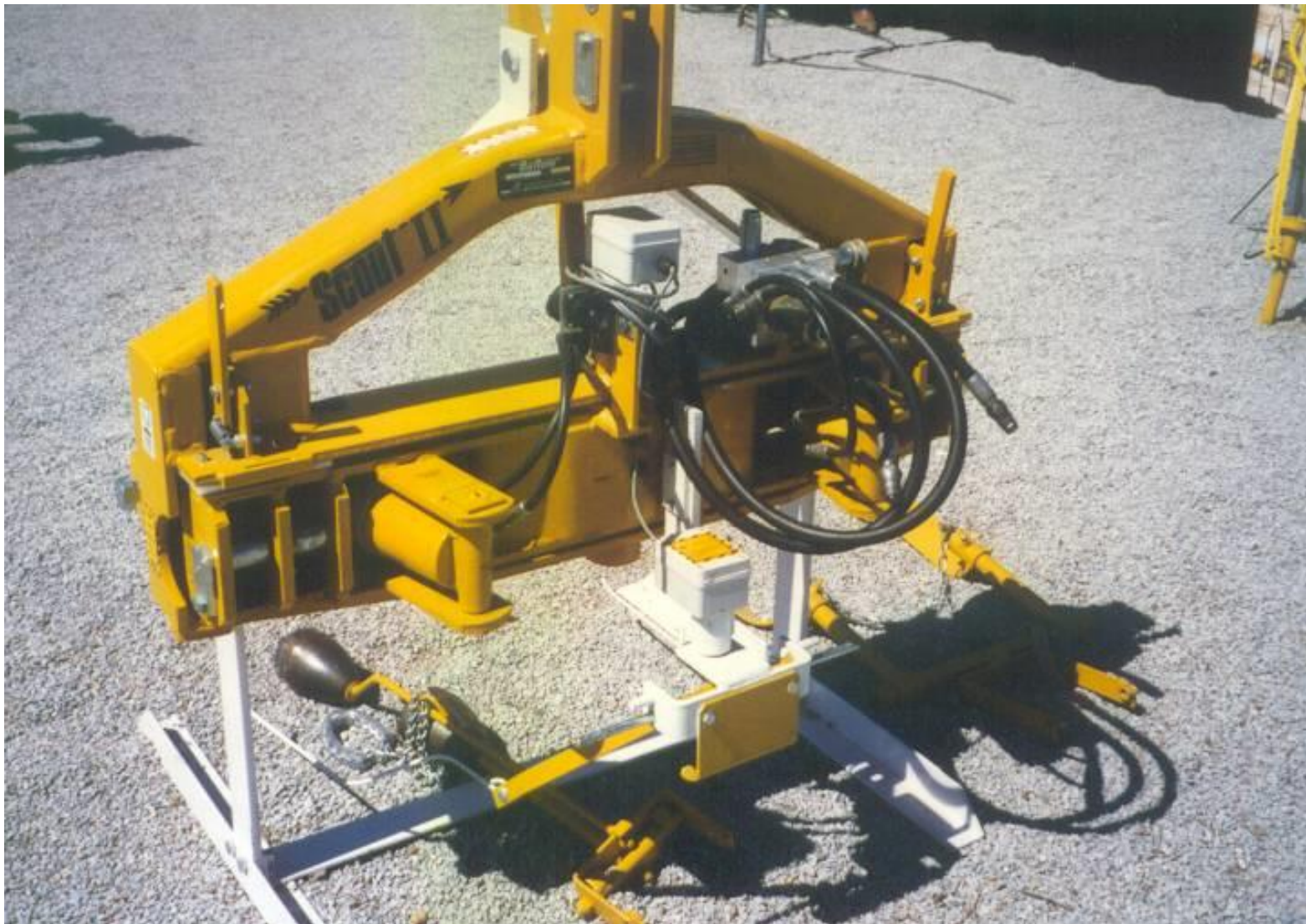
MOLIN et al., 2011

Necessidade de correção para inclinação lateral



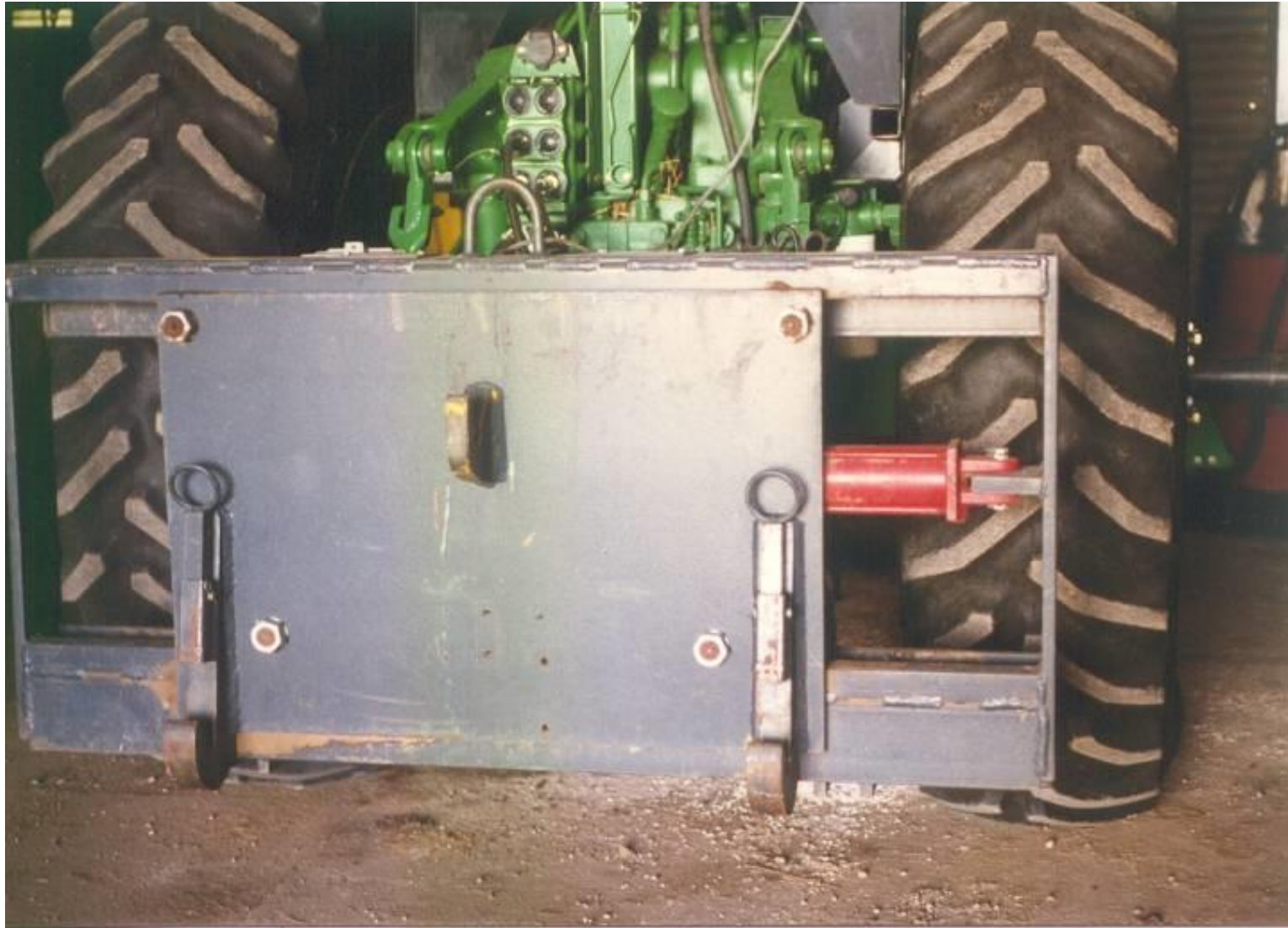
A evolução dos sistemas automáticos de alinhamento e direção

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



Nebraska, 1993

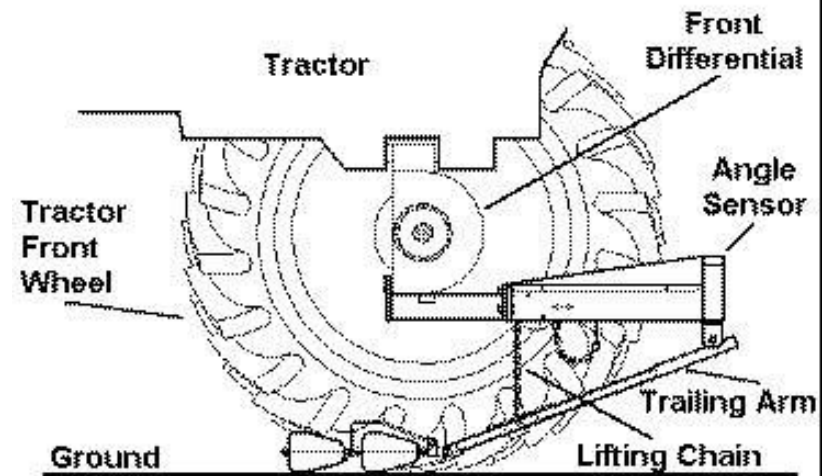
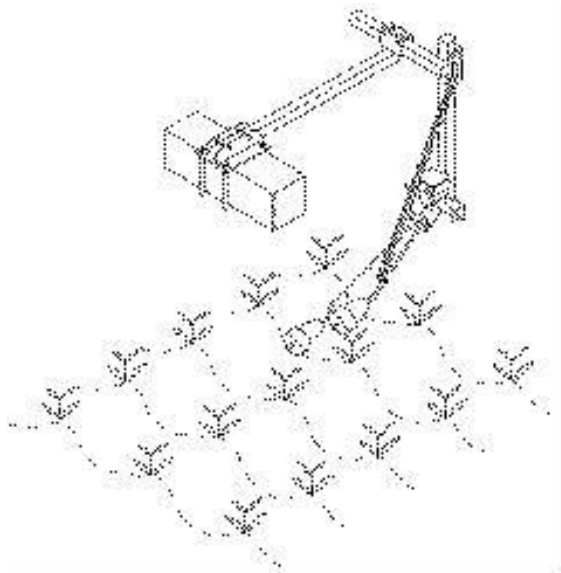
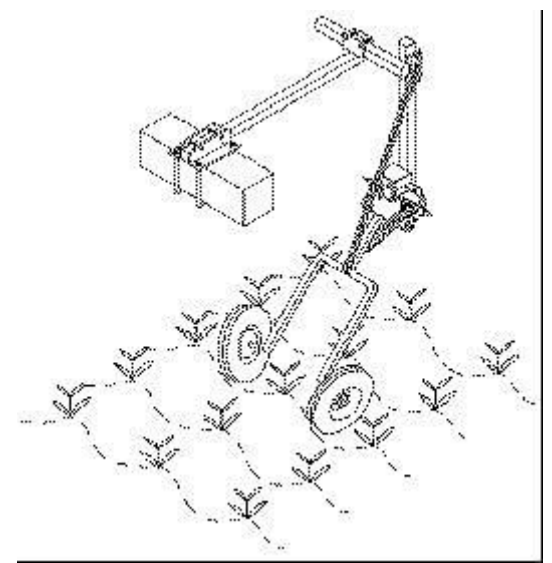
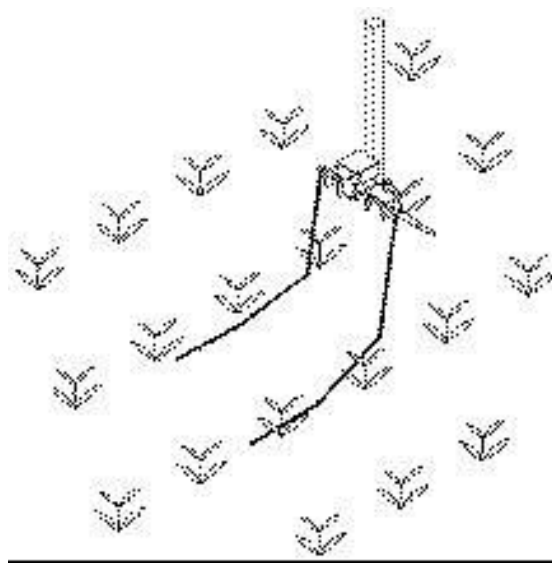
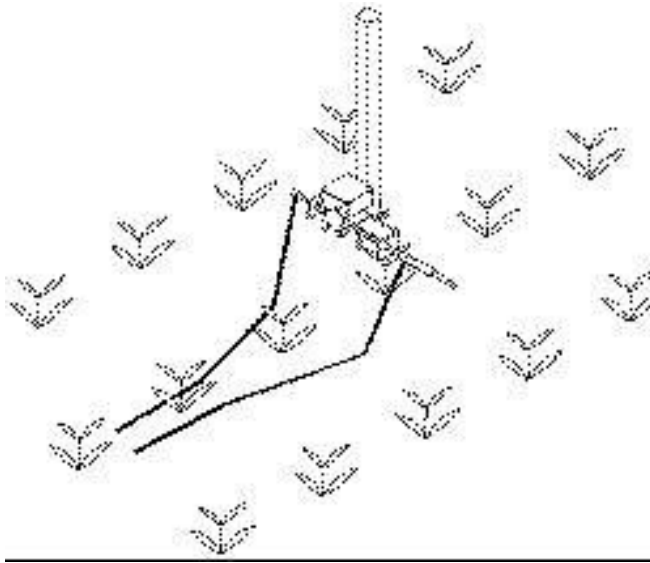
Controlador de posição de implemento montado (cultivador/capina) com sensor de posição e atuador hidráulico



Nebraska, 1994



Sensores



Sistemas Class

AUTO PILOT
LASER PILOT
CAM PILOT

Class

30 years of expertise
in steering systems.



Auto Pilot



Class



Laser Pilot



Class



Cam Pilot



Class

Sistema utilizando ultrasom



The system components:

- mobil Siemens job computer
- electro-hydraulically controlled proportional valve
- Vehicle terminal mounted 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:

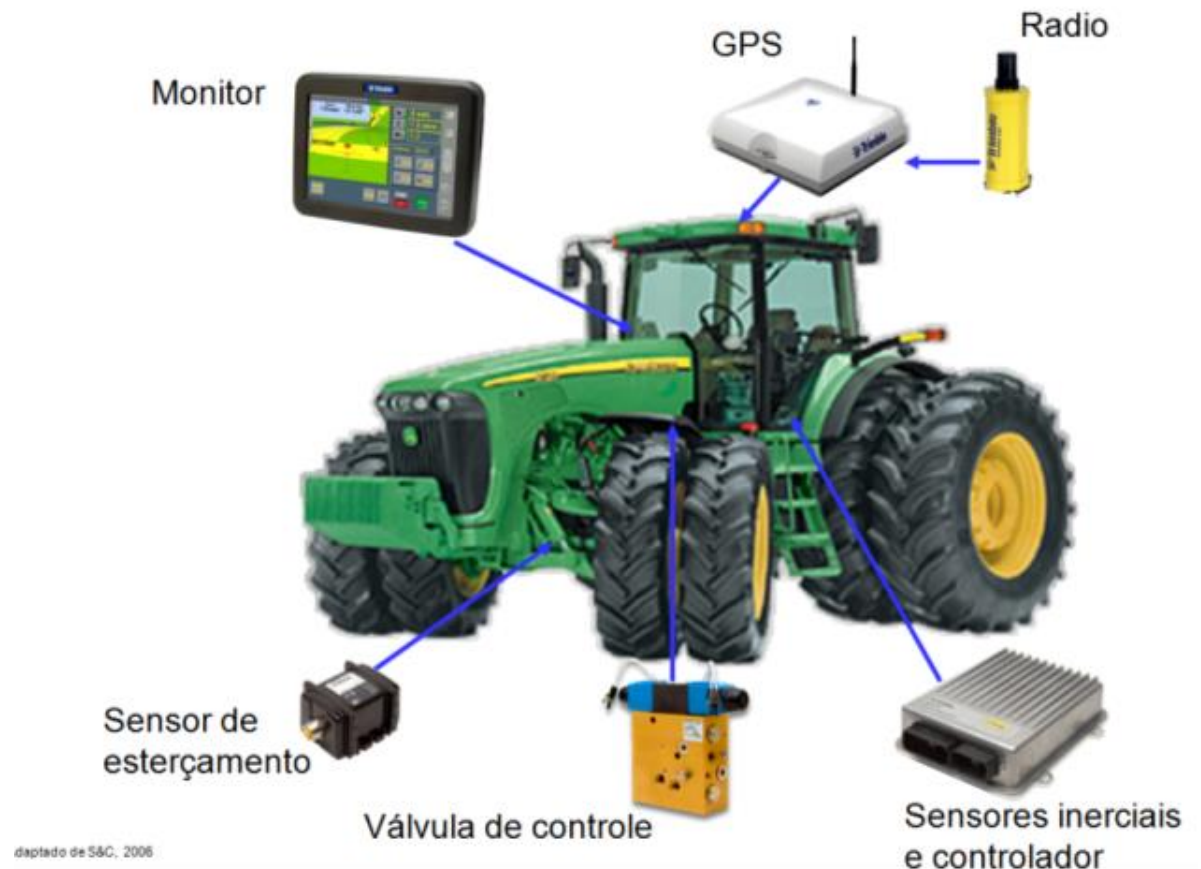
- the steering wheel is turned
- 23-km/h limit is exceeded
- the cab doors are opened
- failures of system components
- main switch is switched off
- main menu is being quit



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



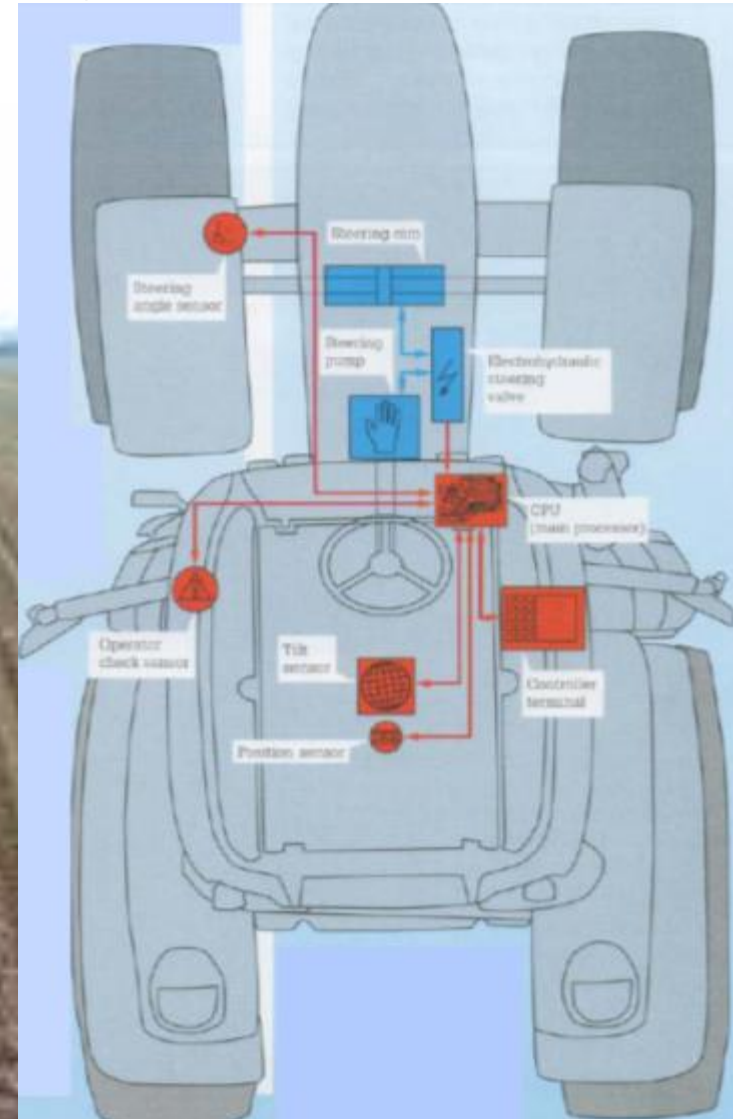
2001

Rápida adoção no Brasil



Tipos de sistemas de direção automática:

Atuadores Integrados (hidráulicos)



Monitor
(computador)

GNSS



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



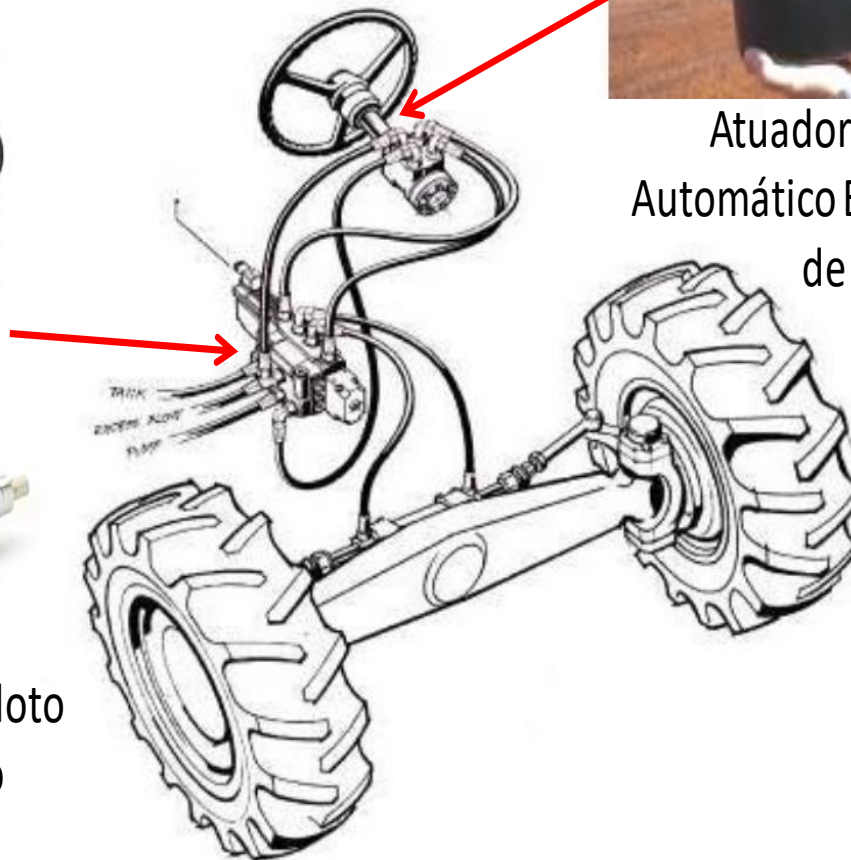


Agritechnica 2011





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

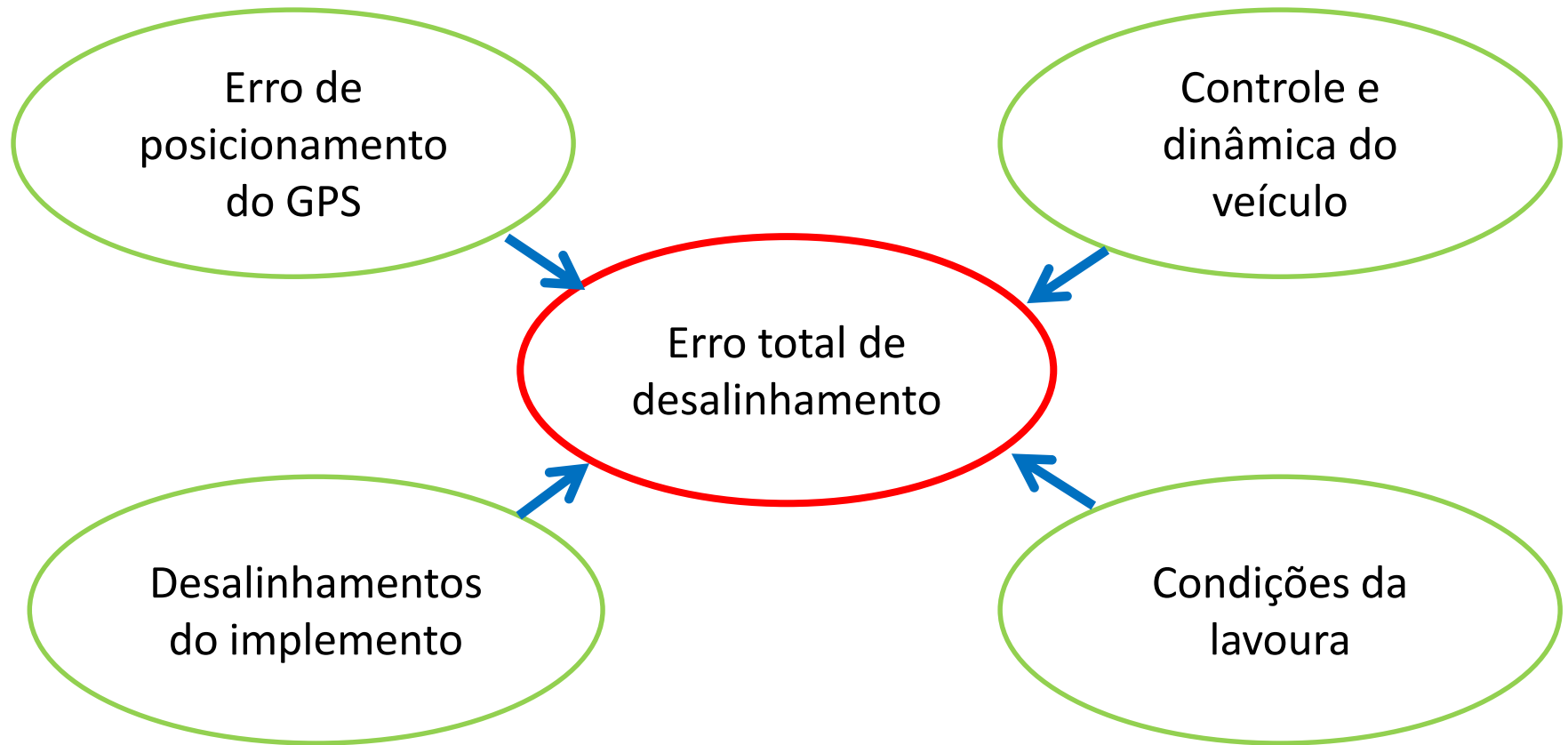


Preço



Adaptado de Timble; John Deere, Salvi (2014)

Composição do erro de sistemas de direção automática



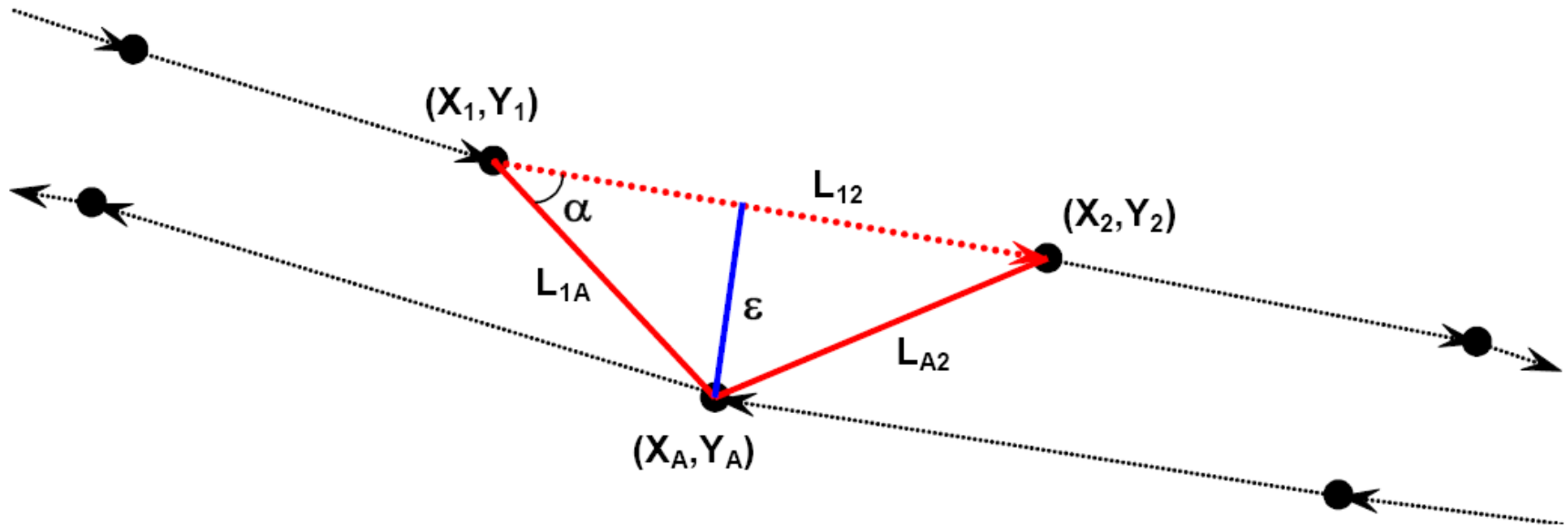
adaptado de Adamchuk, 2007

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”



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

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

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

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 tráfego
- 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 tráfego



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

ast



Canteiro de Cana Otimizado



Coleti, 2009



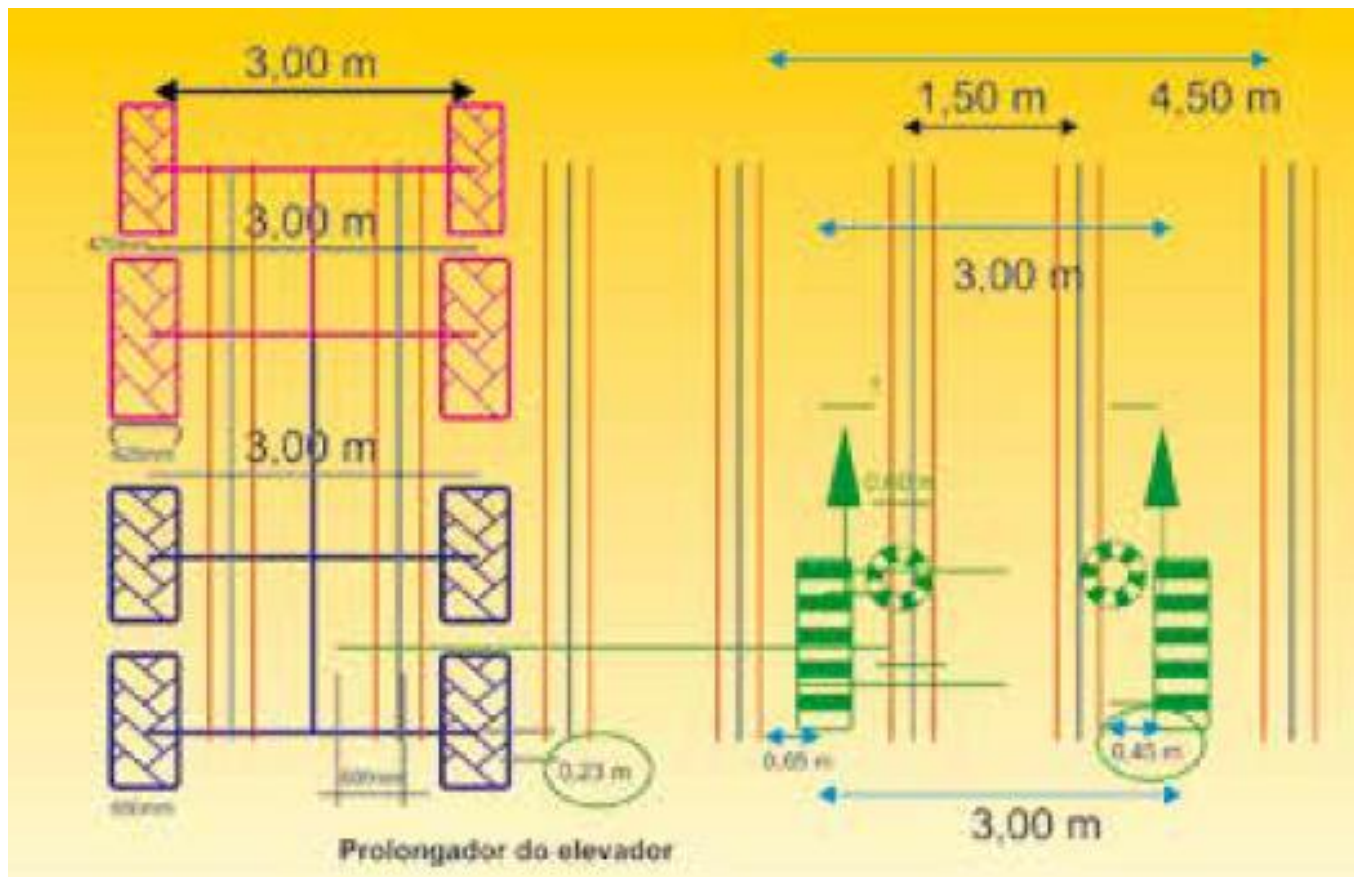


Figura 3 - Distância do afastamento de segurança entre colhedora de duas linhas e trator + transbordo em espaçamento simples de 1,50m. Fonte: Belardo (2016c)

Tráfego em lavoura de grãos - Australia

Caminhos de rodas na lavoura

Cobertura

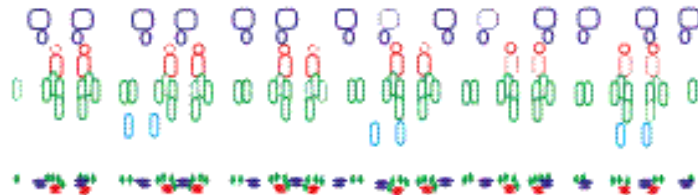
Preparo convencional



Colhedora
Trator e semeadora
Escarificador
Arado de Aiveca
Soma de tráfego

82%

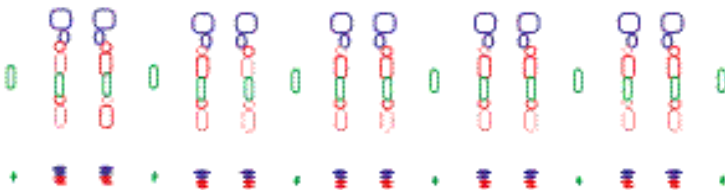
Plantio direto



Colhedora
Trator e semeadora
Pulverizador
Soma de tráfego

46%

Tráfego controlado



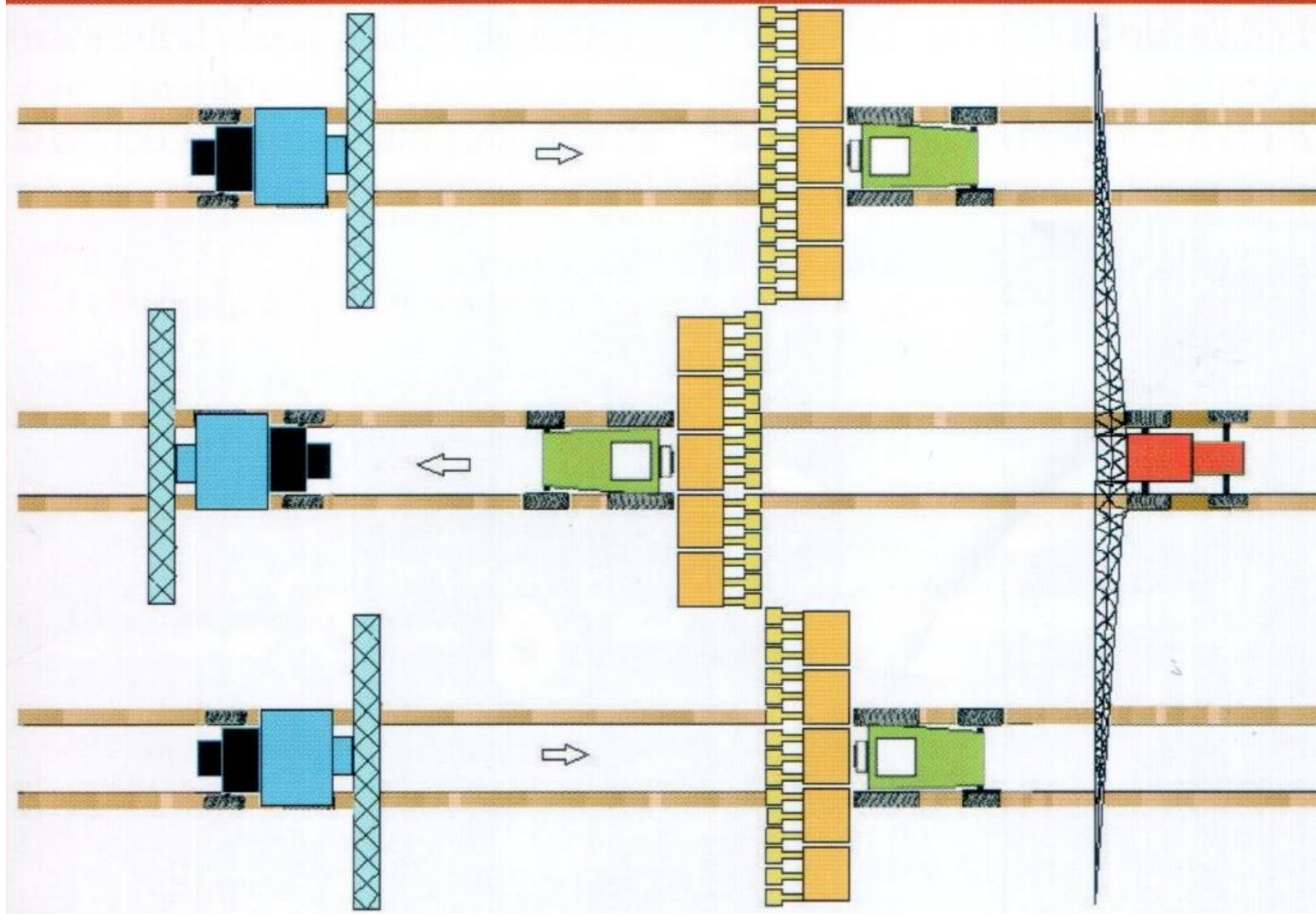
Colhedora
Trator e semeadora
Pulverizador
Soma de tráfego

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

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

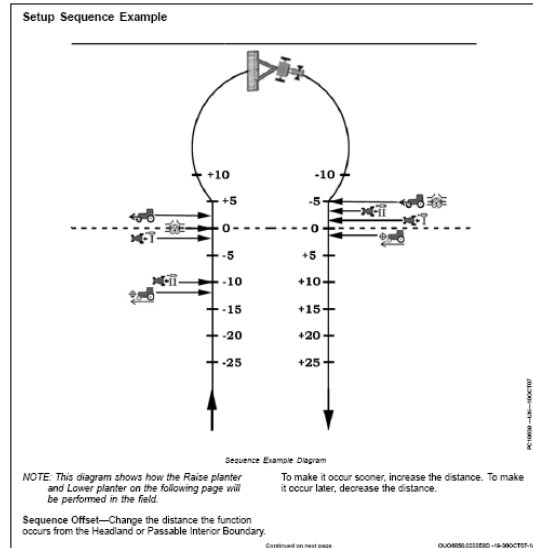


Farmers Weekly - <http://www.fwi.co.uk>
07/06/2007



Intelligent Total Equipment Control

(John Deere iTEC Pro™ Guidance Systems)



Setup Sequences			
Sequence	Raise Planter	A	B / E
1	On	3.5 (min)	-12.0 (ft)
2	Extend	-10.0 (ft)	
3	Extend	-2.0 (ft)	
4	Off	0.0 (ft)	
5	Off	2.0 (ft)	

Raise Planter Sequence

A—Sequences Drop-Down Menu C—Function
B—Record/Stop Button D—Action

Setup Sequences			
Sequence	Lower Planter	A	B / E
1	On	5.0 (ft)	
2	On	-5.0 (ft)	
3	Retract	-4.0 (ft)	
4	Retract	-2.0 (ft)	
5	5.5 (min)	1.0 (ft)	

Lower Planter Sequence

E—Distance F—Previous Function Page G—Next Function Page

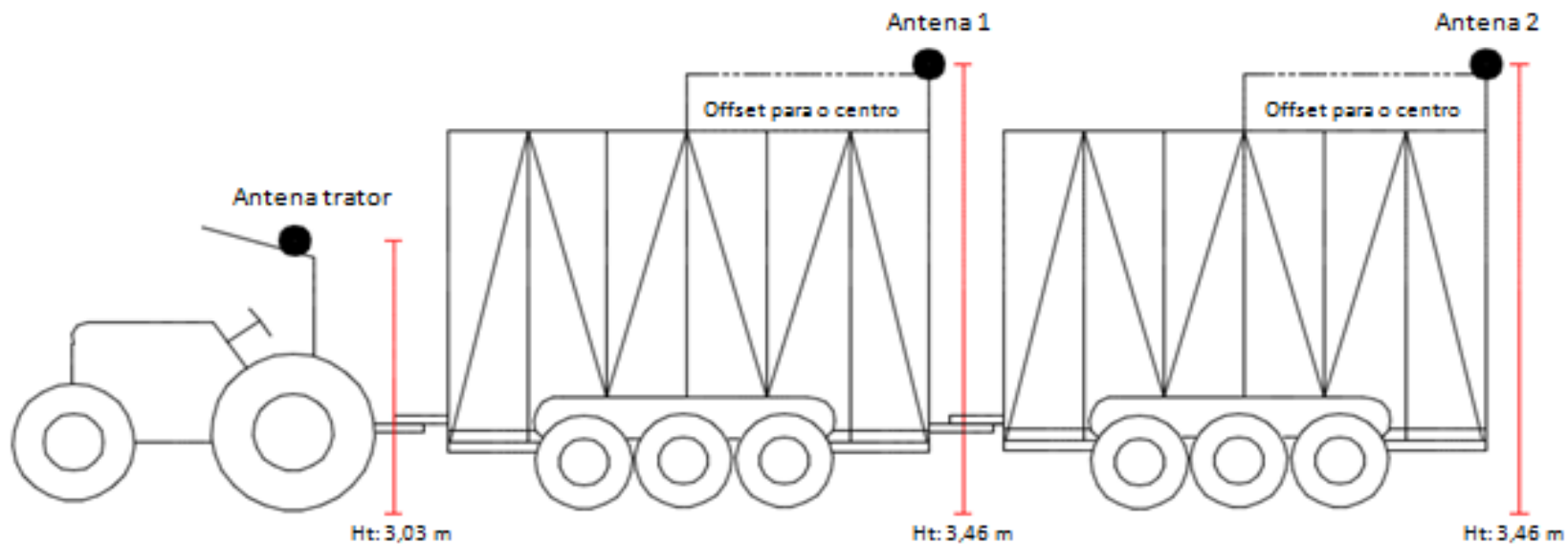
QU000001011000-10-300CTEP-02

Tecnologia de manobra autônoma de cabeceiras



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

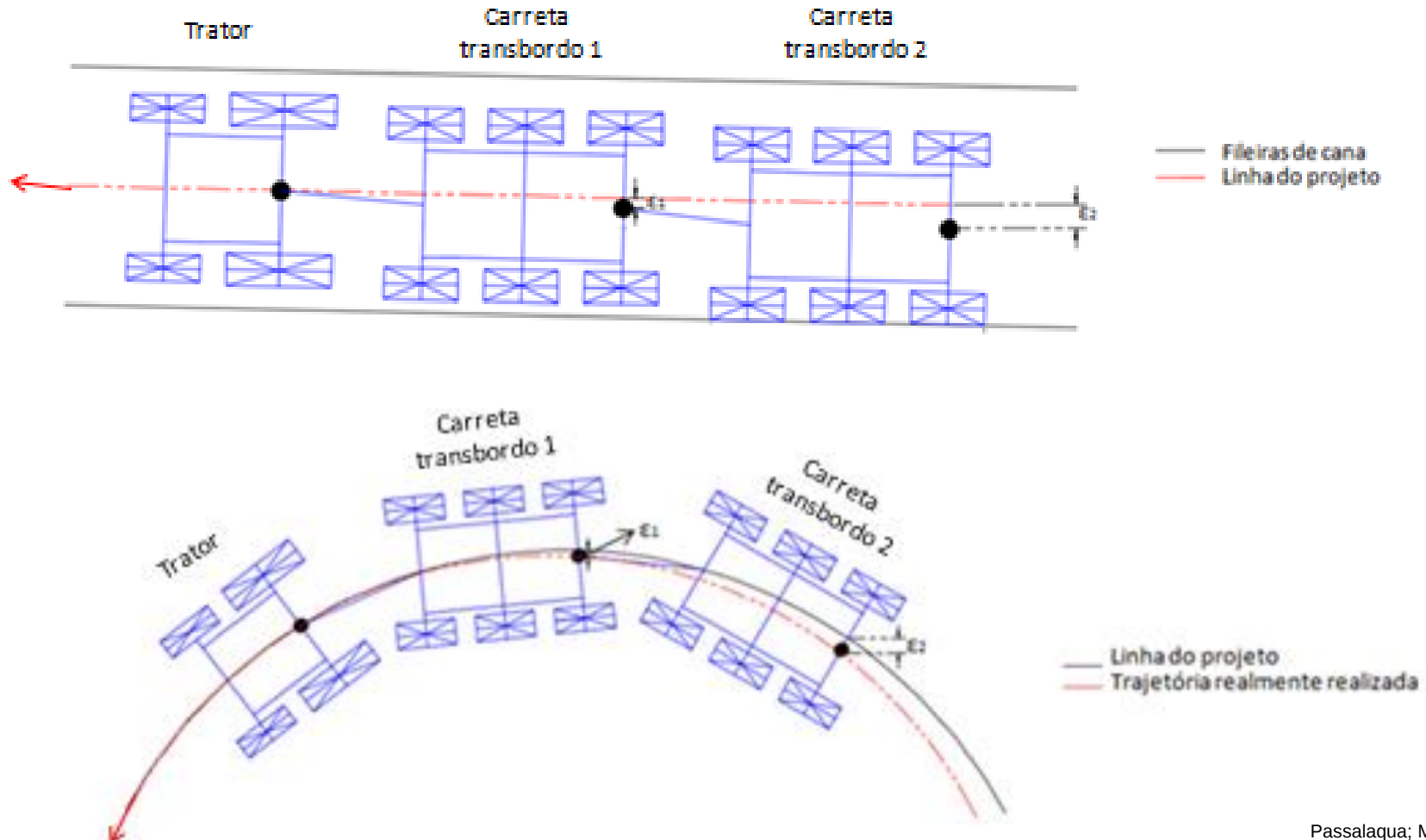




Passalaqua; Molin (2018)

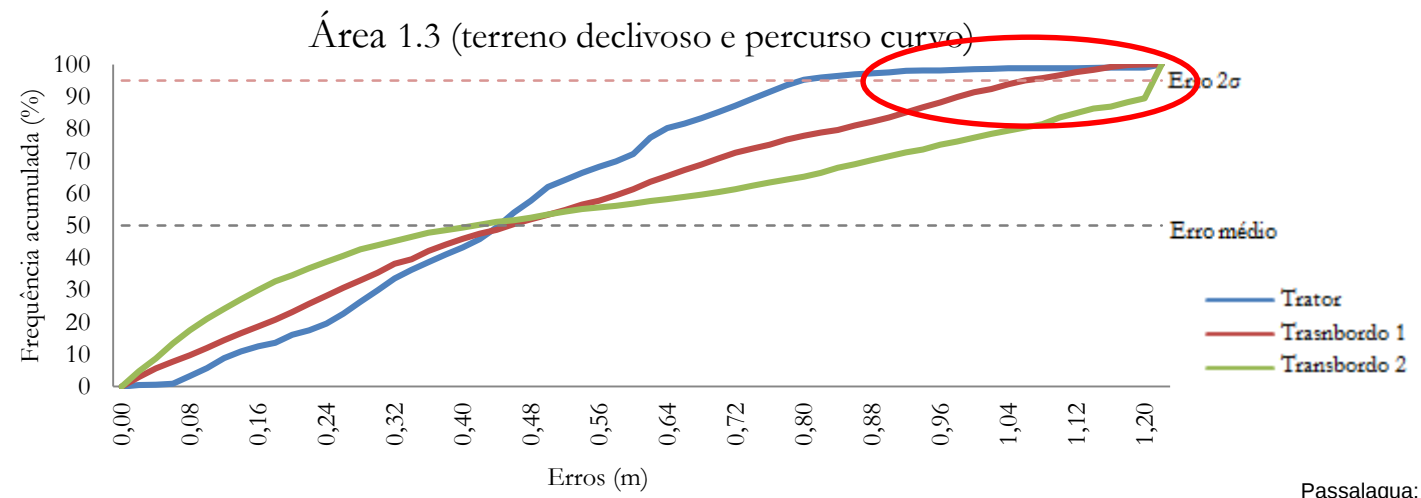
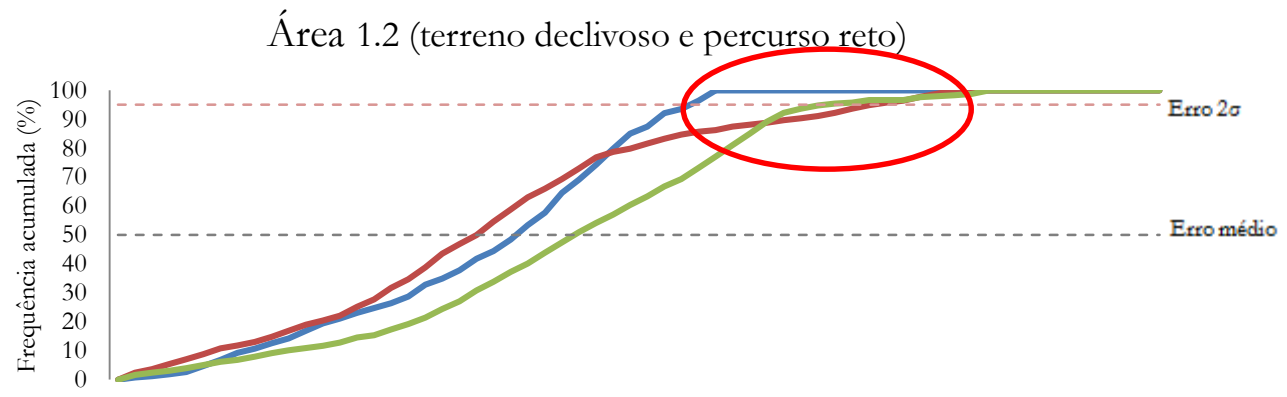
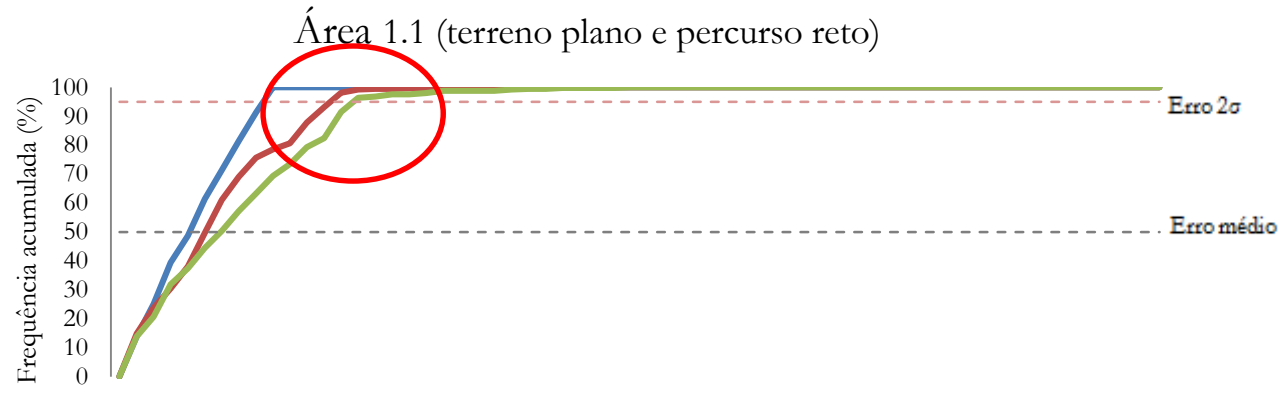
MATERIAL E MÉTODOS

○ Comportamento das carretas em relação a trajetória



Passalaqua; Molin (2018)

Percursos
retos e curvos,
sem DA

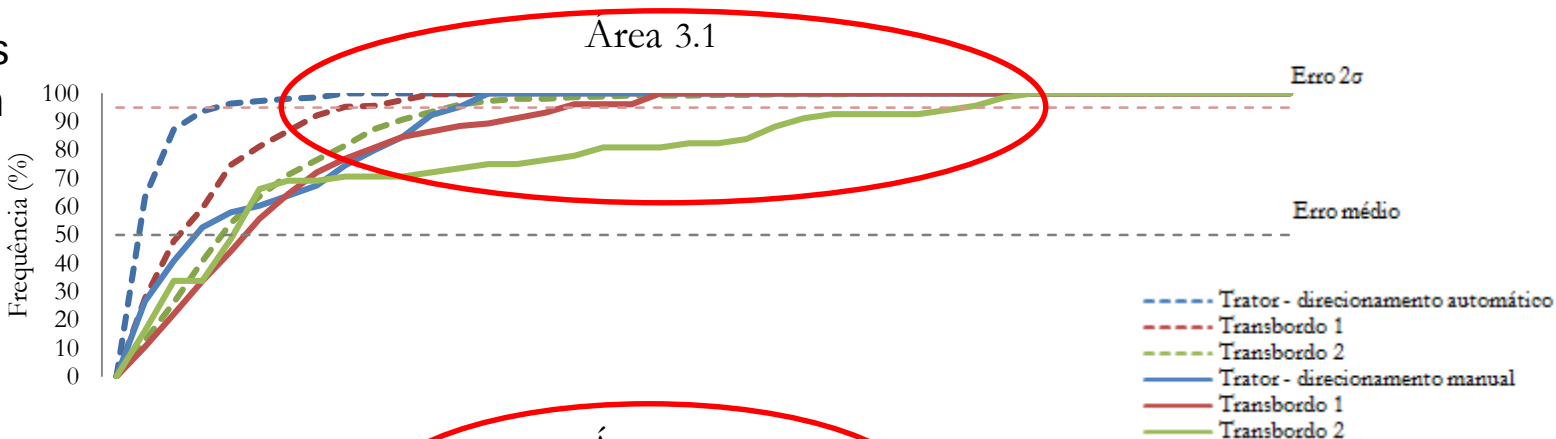


Passalaqua; Molin (2018)

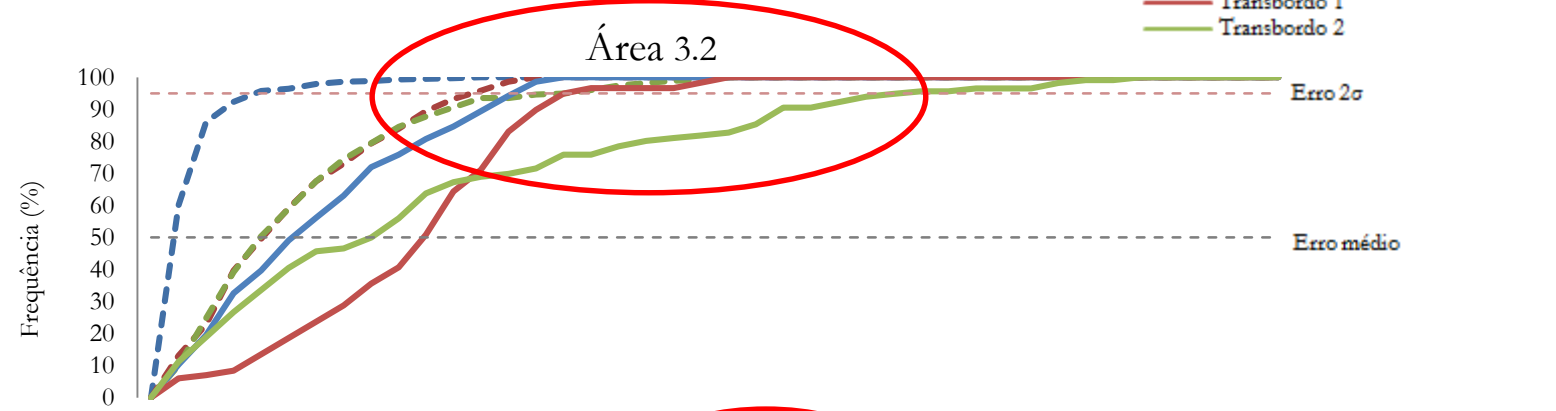


Percursos retos
inclinados, com
e sem DA

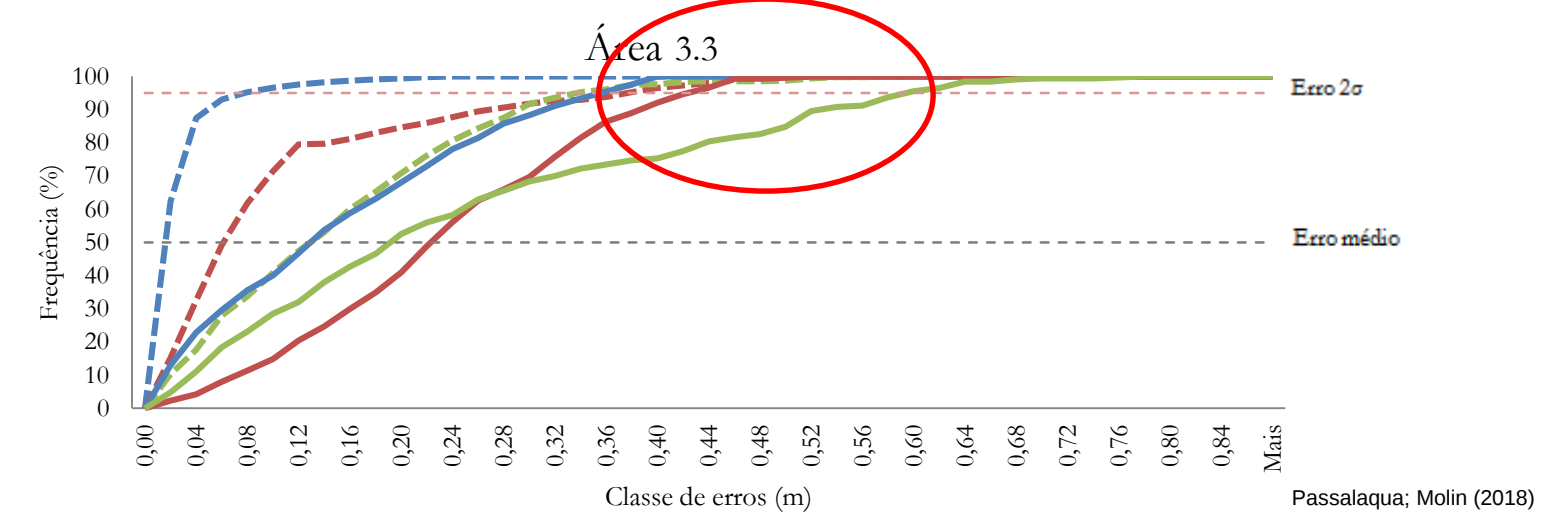
5%



7%



8%



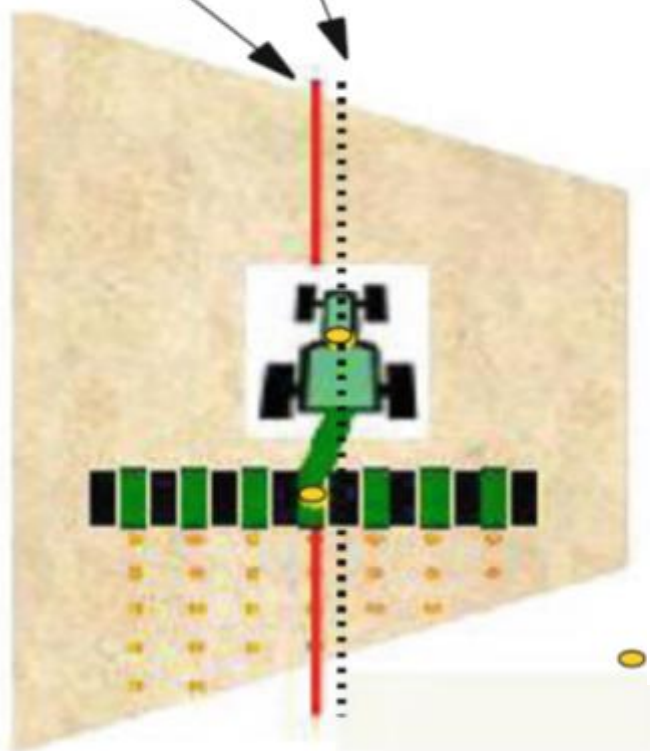
Passalacqua; Molin (2018)

Sistema de direção automática para máquinas e implementos

Passivo

Linha guia do implemento

Linha guia do trator

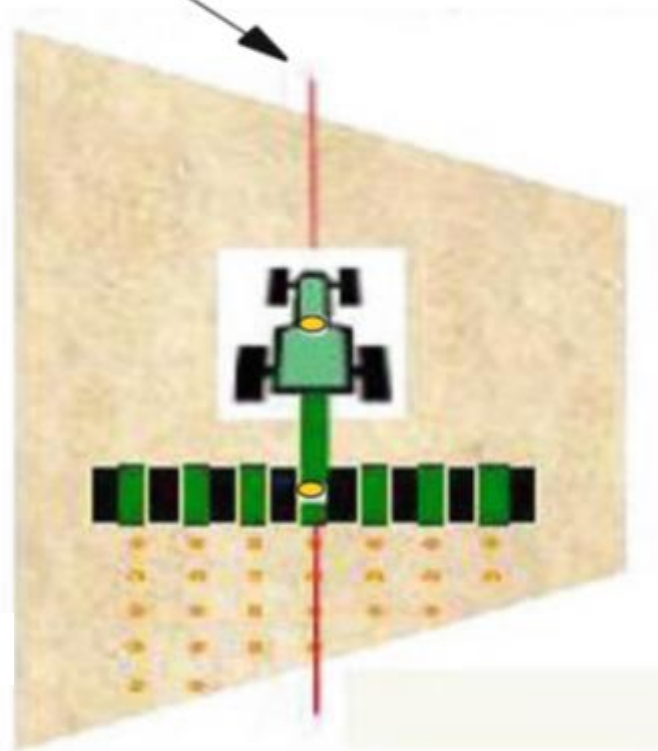


Direção da inclinação

Adaptado de Heege (2013)

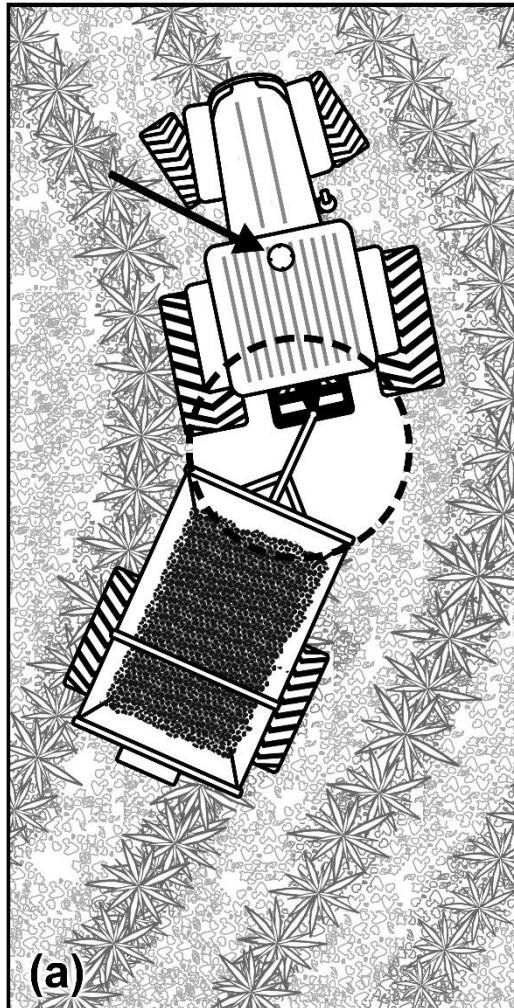
Ativo

Mesma linha guia para o trator e implemento

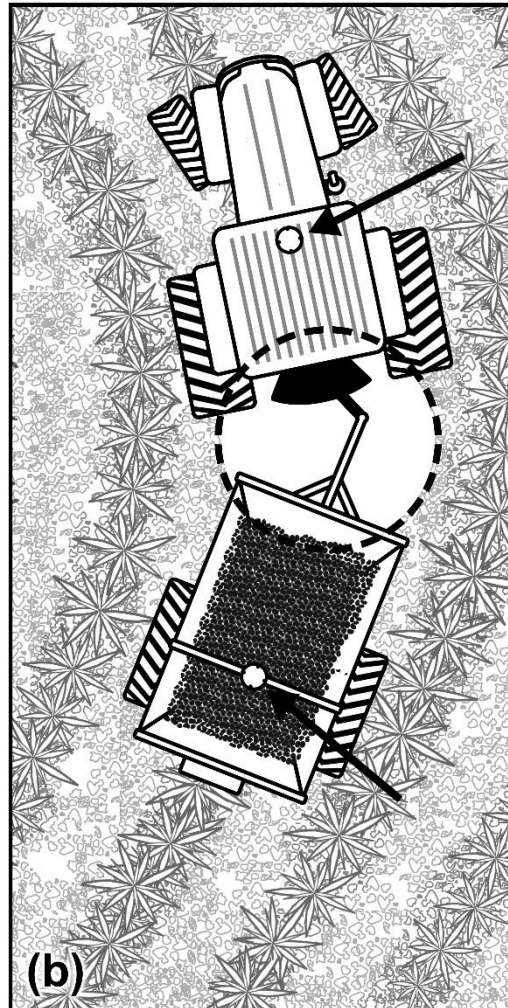


Direção da inclinação

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

Molin et al., 2015

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



www.orthman.com

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 NavController II fornece instruções de direção usando informações da tela integrada RTK da antena Zephyr.

www.orthman.com



Trimble

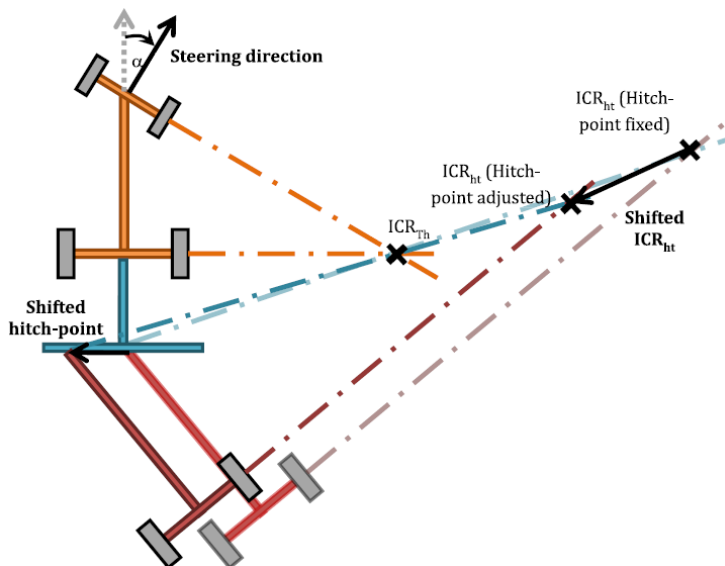
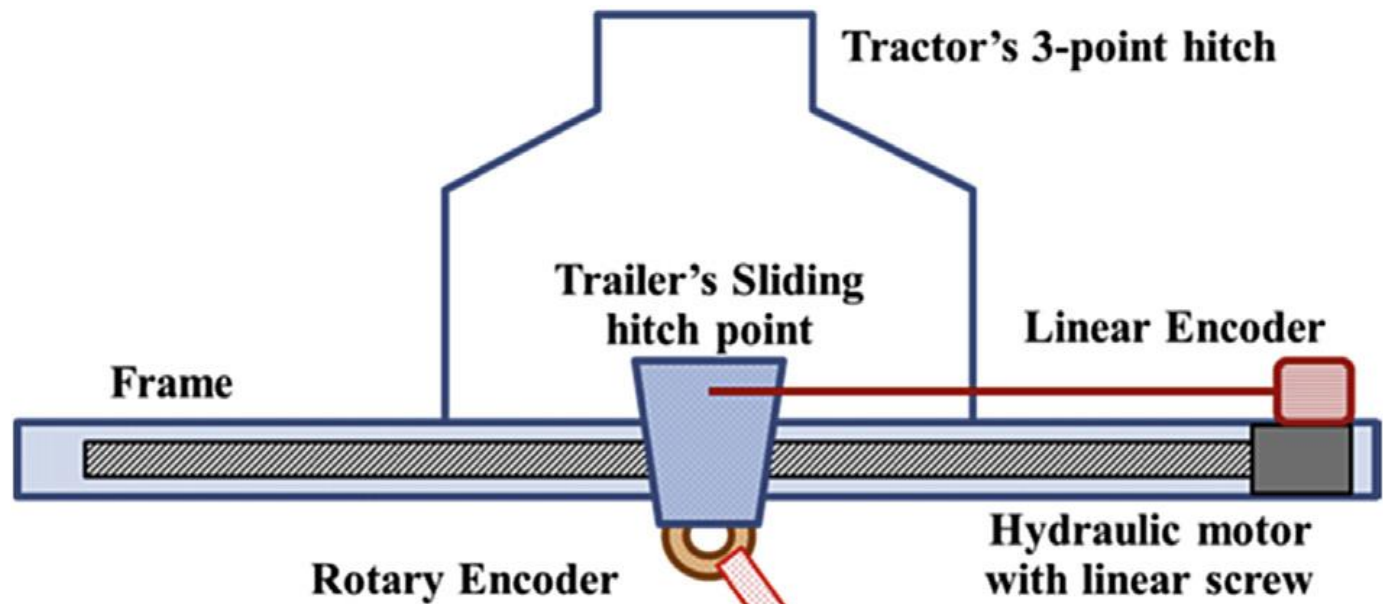
Sistema de direção automática ativo para máquinas



www.JohnDeere.com



Barra de tração com atuadores
hidráulicos



Thanpattranon et al (2016)



Agritechnica 2011



Agritechnica2015



Sistema Passivo

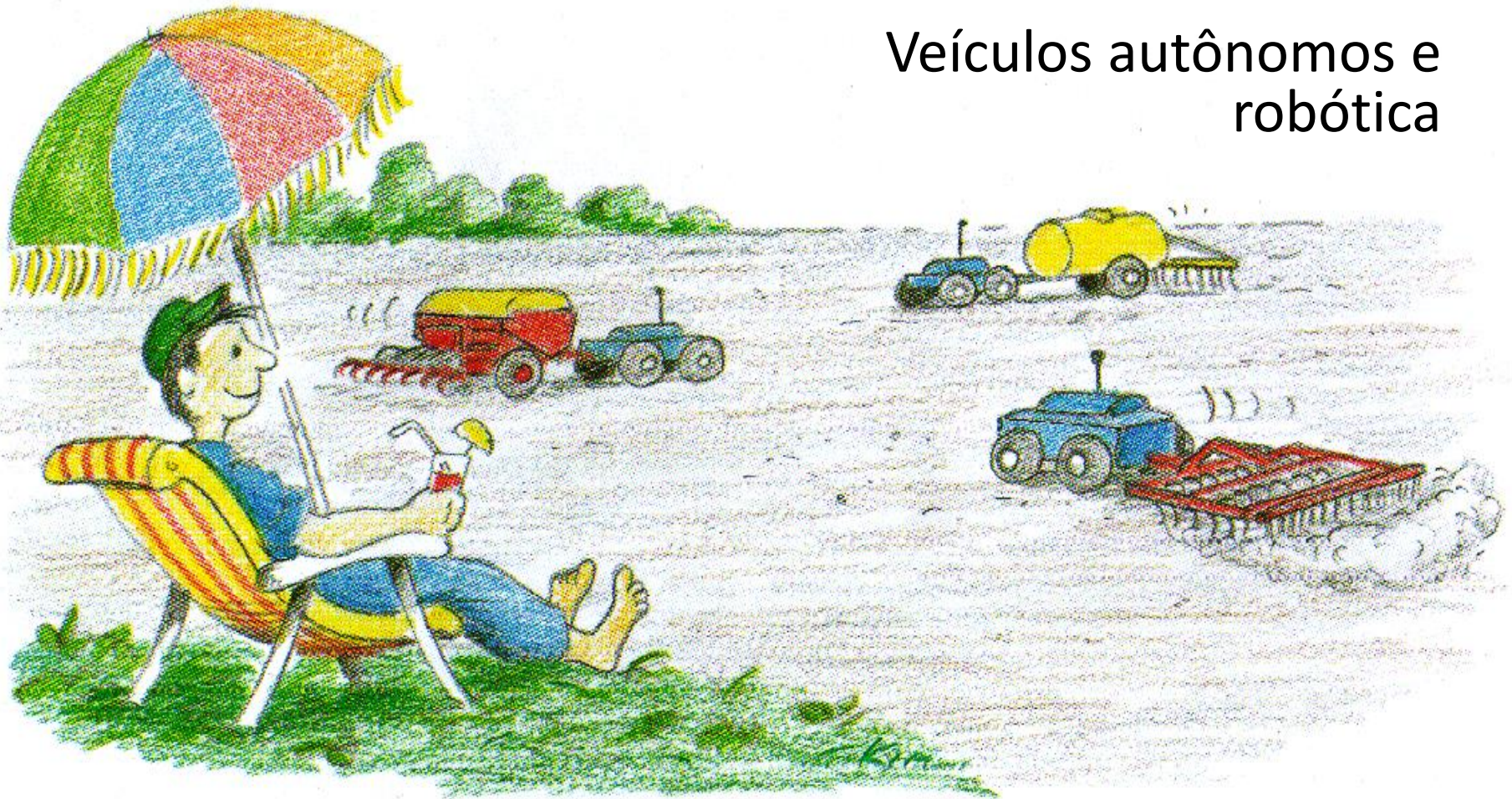


SÍNTESE

- 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...

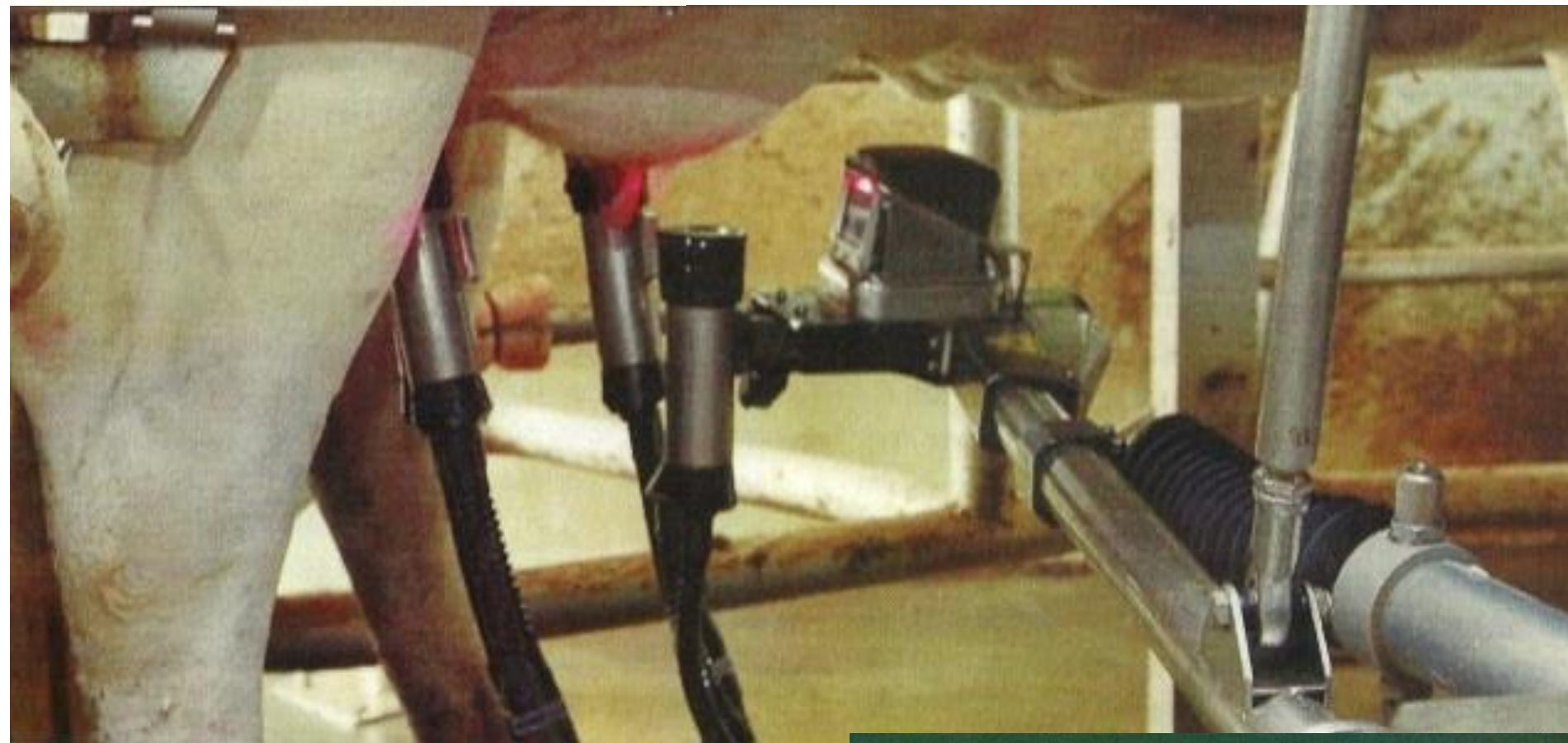
Veículos autônomos e robótica



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

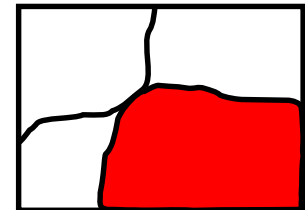
Tratamento uniforme



■ Agricultura de precisão

Sub-talhão (ou pixel)

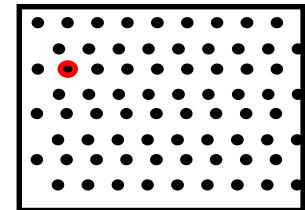
Tratamento localizado



■ Tratamento individualizado por planta

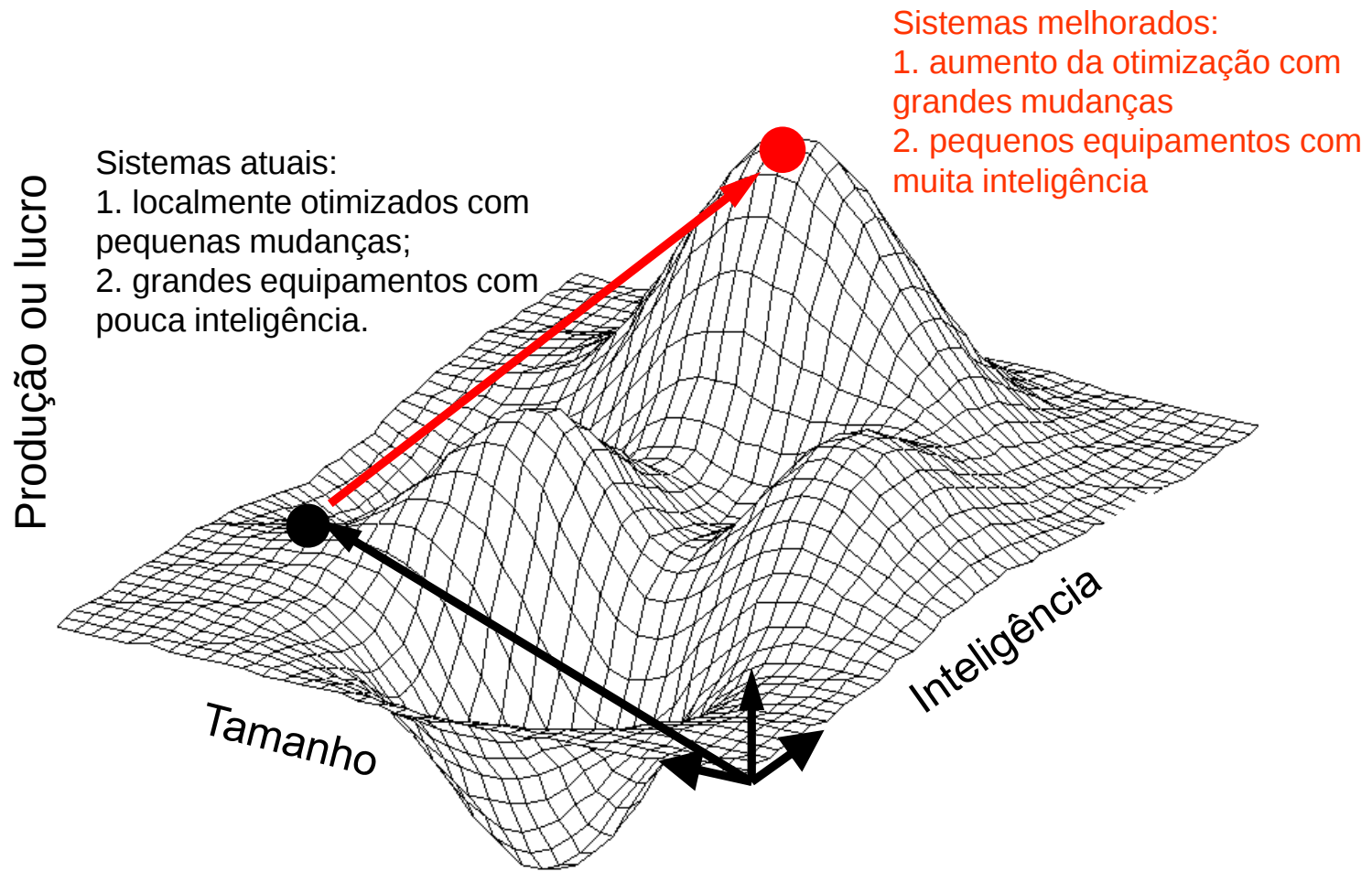
Planta individual

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



Canadá, 2018



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

[https://farmfor.com.br/posts \(2017\)](https://farmfor.com.br/posts (2017))

Medalha de Ouro – Agritechnica 2011 - Hannover







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