

## Aula 12 - Automação em Tratores

Prof. Jose Paulo Molin

Seguindo a tendência dos veículos em geral, a automação também chega aos tratores e segue uma lógica semelhante. As primeiras soluções, na década de 1980, visavam a facilitar a ação do operador; a cabine ainda era uma raridade. Foi assim que muitos comandos até então manuais, por alavancas e chaves, foram substituídos por botões e como são menos robustos surgiram associados à popularização das cabines, que os protegem das intempéries. Na década de 2000, depois do surgimento do GPS, novas e importantes funções de automação foram adicionadas ao trator, em especial o sistema de direção automática (piloto automático). Paralelamente evolui a comunicação entre a máquina e o gestor, também conhecida como “telemetria”, permitindo a transferência de dados gerados no ou pelo trator para a sede da propriedade, revenda ou empresa terceirizada de manutenção, permitindo assim a gestão otimizada da manutenção e do uso dos equipamentos.

Na medida em que o trator passa a ter itens de automação, muitos dos equipamentos por ele tracionados e acionados também evoluem e incorporam componentes da eletrônica. Isso demanda a comunicação entre ambos, que passa a ser tratada por um complexo protocolo na forma de uma norma (ISO 11783), também conhecida como ISOBUS, que tem o propósito de ser o padrão para essa comunicação de dados entre o trator e a máquina ou implemento, independente de origem, marca ou fabricante de ambos. No Brasil, essa norma está sendo gradativamente adotada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que é a entidade privada de normatização brasileira.

O objetivo deste texto é abordar as recentes evoluções que envolvem a automação de controles e de processos na operação de tratores

### Os primeiros passos

A eletrônica embarcada teve grandes avanços nos últimos 25 anos, focada nas soluções de automação de comandos na cabine do trator, que antes eram manuais e que foram simplificados e transformados em botões que comandam atuadores, normalmente elétricos ou hidráulicos. O trator agrícola moderno apresenta uma quantidade expressiva desses comandos, desde a substituição das alavancas de controle remoto, comando de bloqueio de diferencial, acionamento da TDP e tantos outros.

As máquinas acopladas aos tratores, cujos comandos já foram puramente mecânicos, receberam grandes avanços ao incorporar os comandos e acionamentos hidráulicos. Esses, por sua vez, receberam o aporte de tecnologias da interface entre a hidráulica e a elétrica e se popularizaram os atuadores eletro-hidráulicos com comando por simples botões ou toques.

A eletrônica passa a ser não apenas um auxílio complementar nas máquinas, mas sim um componente e traz consigo novos desafios e o maior deles é o da necessidade de padronização. Essa demanda é menos evidente quando se trata de veículos autopropelidos. No entanto, na interface entre um trator e uma máquina por ele tracionada e acionada, essa necessidade de padronização tende a ser algo óbvio aos olhos do usuário, da mesma forma que foi a padronização das dimensões do acoplamento da TDP, do engate de três pontos dos tratores e máquinas e implementos e de conexões hidráulicas.

### A norma ISOBUS

A aplicação de eletrônica embarcada nas máquinas agrícolas tem perspectivas ilimitadas e para os próximos anos são sinalizados alguns movimentos que ainda estão em fase inicial. É o caso da comunicação entre o trator e a máquina. A primeira etapa aconteceu há mais de meio século (sistemas de controle hidráulico remoto), com o domínio dos circuitos hidráulicos e com a consequente necessidade de sua padronização de forma que a partir de qualquer modelo de trator fosse possível acionar e controlar comandos de uma determinada máquina ou implemento. Hoje são oferecidas soluções eletrônicas para controlar simples ações da máquina acoplada ao trator ou mesmo sistemas completos e complexos que automatizam as funções dessa máquina a partir do trator, onde está o operador.

As comunicações eletrônicas, no entanto, requerem significativamente mais padronização do que era necessário nos casos das interfaces anteriores. Não somente os aspectos físicos agora são considerados, mas principalmente a compatibilidade da maneira como o dado ou a informação é comunicada. Um dado simples como a velocidade de deslocamento, por exemplo, para ser utilizado por diferentes equipamentos e gerado apenas em um deles, exige padrões para conectores, fiação, tensão e corrente e métodos de veiculação. Consenso entre os envolvidos (equipamentos de diferentes fabricantes) também deve existir com relação ao padrão de comunicação, à codificação e à definição do dado em si. As unidades de mensuração, a exatidão, definição e frequência de medição devem ser padronizadas para que possam ser interpretadas.

A norma ISO 11783, também conhecida como ISOBUS, tem o propósito de ser o padrão para essa comunicação de dados entre o trator e a máquina ou implemento. No Brasil, essa norma está sendo gradativamente adotada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que é a entidade privada de normatização brasileira.

O propósito dessa norma é prover um padrão aberto para interconexão de sistemas eletrônicos embarcáveis em equipamentos agrícolas através de um barramento (“bus” do inglês), que é um conjunto formado por fios, conectores e dispositivos de potência, para promover a interconexão de componentes e permitir a comunicação de dados entre eles. A norma estabelece que essa eletrônica embarcada seja fisicamente distribuída em várias partes, chamadas de “electronic control units” (ECUs), cada uma responsável por apenas parte do processamento, o que as torna mais simples e baratas. Elas são interligadas pelos barramentos no trator e na máquina ou implemento e trocam mensagens padronizadas.

A entidade privada denominada de “Agricultural Industry Electronics Foundation” (AEF) une os grandes grupos de empresas e entidades dedicadas ao tema, predominantemente norte americanas e europeias. A AEF se dedica prioritariamente ao desenvolvimento e fomento à adoção da ISOBUS.

Algumas funcionalidades com essa padronização já estão disponíveis. É o caso do terminal universal (TU) que é a tela em que as ações dos programas são visualizadas ao operador. A partir dele qualquer máquina acoplada ao trator e compatível com essa comunicação pode ser operada. Há também os controles auxiliares (AUX-N), como é o caso de um joystick ou outro tipo de controle auxiliar ao TU; os “Task Controllers” ou controladores de tarefas e o primeiro deles é o TC-BAS, que se refere às tarefas básicas, envolvendo a documentação de valores totais de trabalhos realizados; o controlador de tarefas georreferenciadas, que envolve dados com coordenadas (TC-GEO) e o controlador de tarefas que envolvem o controle de seções, como no pulverizador e na semeadora (TC-SC). O controlador de tarefas relacionadas às ECUs do trator (TECU) trata da sua velocidade, rotações, etc. A ECU avançada do trator (TECU-A) envolve a comunicação bidirecional, aquela em que a máquina controla o trator, por exemplo, comandando a sua velocidade. O controle sequencial (SQC) trata do caso das etapas das manobras de cabeceiras. A AEF também desenvolveu uma ferramenta que testa conformidades e serve para certificar os produtos dos fabricantes.

A padronização eletrônica também contempla a evolução dos motores de combustão interna, antes alimentados por bombas injetoras, para o atual sistema de alimentação eletrônica, e das transmissões para os sistemas de variação contínua de velocidade (ou automáticas), ambos com ECUs próprias. Isso permitem um grau de automação que oferece muitas oportunidades com soluções novas

para problemas antigos. É o caso do controle do efeito da variação indesejada da velocidade em uma operação, a qual afeta diretamente a aplicação de insumos. Esse problema é compensado por meio de sistemas de controle da vazão, para ajustara a dose à variação na velocidade.

## **A telemetria**

Outra evolução que surge é a da comunicação entre a máquina e o sistema gestor. Na medida em que a quantidade de conjuntos mecanizados cresce nas propriedades agrícolas, pela extensão destas propriedades ou pela sofisticação da sua mecanização, a necessidade da correta gestão destes como fatores de produção se torna mais evidente. Sistemas que conectam as máquinas e que transmitem dados destas a uma central de controle e desta a elas, permitem uma série de ações que facilitam em muito a atuação do gestor e dos operadores.

Essa técnica, também conhecida como telemetria, está chegando ao campo e traz consigo a perspectiva de transmitir dados em tempo real ou bem próximo disso entre as duas partes. Sensores instalados na máquina e que coletam dados de aspectos de funcionamento do motor, transmissão e operação, podem ao mesmo tempo encaminhar os dados a um computador de bordo ou a uma unidade remota. Da mesma forma, dados ou informação gerados no escritório e que necessitam chegar à máquina, podem ser enviados, facilitando e agilizando os processos.

Numa forma mais ampla de aplicação dessa técnica, as empresas de máquinas, por iniciativa própria ou por meio de suas revendas, vislumbram serviços de gestão de frotas e já há o termo técnico “Farm Management Information Systems” (FMIS) para se referir ao tema. A partir dos dados funcionais das máquinas, por exemplo, são programadas as manutenções e trocas.

As razões para a recente popularização da telemetria estão nos avanços dos serviços de comunicação, especialmente da telefonia móvel. No entanto, sabe-se das limitações de cobertura que existem em áreas rurais e que devem ser solucionadas na medida em que surgem as demandas.

Também se amplia no âmbito da telemetria a necessidade de sincronismo nas tarefas entre diferentes máquinas, por meio da comunicação entre elas. Exemplos clássicos que já são trabalhados pelo mercado são o da colhedora e do trator tracionando uma carreta, ambos equipados com sistema de direção automática. A colhedora pode fazer a descarga na carreta mesmo que ambas estejam em movimento e para isso basta que o operador do trator o coloque paralelo à colhedora, que passará a comandar o esterçamento e velocidade do trator. Contudo, para isso é necessário, dentre outros, que o trator esteja equipado com sistemas de variação contínua de velocidade.

## **A eletrificação do trator**

A perspectiva ainda mais distante, mas não menos estudada e trabalhada, tanto na indústria como na academia é a da gradativa substituição dos acionamentos hidráulicos pelos acionamentos elétricos nas máquinas em geral, conhecido como a “eletrificação do trator”. Essa é uma tendência que já se anuncia, embasada na maior eficiência energética e maior capacidade de controle e automação dos acionamentos elétricos. Além das ligações mecânicas e hidráulicas tradicionais, também incluem atuadores e motores elétricos.

Tipicamente, um gerador é montado no volante do motor diesel para produzir a corrente elétrica que é usada como propulsor de atuadores e motores. Em alguns casos já substitui a própria transmissão mecânica e faz o acionamento de rodados de tração. Sistemas diesel-elétricos semelhantes têm sido utilizados com sucesso nas locomotivas, submarinos, e mais recentemente em ônibus urbanos.

## Sistemas de Navegação Global por Satélites (GNSS) nos tratores

Os Sistemas de Navegação Global por Satélites ou *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS) foram inicialmente desenvolvidos para fins bélicos e revolucionaram os métodos de localização terrestre. Os atuais componentes do GNSS de alcance global são o *Global Positioning System* (GPS), dos Estados Unidos e o *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema* (GLONASS), da Rússia, ambos em plena operação. Há também o Galileo, projetado pela *European Space Agency* (ESA), da União Europeia, e que está em fase de lançamento de foguetes para o posicionamento de satélites na constelação. Outro sistema é o que a China está construindo, chamado de *Compass Navigation Satellite System* (CNSS) ou, como os chineses recentemente definiram, *BeiDou Navigation Satellite System* (BDS).

Um receptor GNSS é capaz de fornecer o tempo, a posição e a velocidade, com rapidez e com graus de exatidão que dependem de aspectos construtivos e de configuração, em qualquer instante e local aberto. Quando se deseja grande exatidão é necessário dispor de algum sistema auxiliar gerador de sinal ao qual se denomina de “correção diferencial”.

A agricultura e a indústria de máquinas agrícolas passaram a ter novas perspectivas com o surgimento dos GNSS. As soluções mais impactantes até então são associadas aos sistemas de orientação para o operador.

A orientação com GNSS surgiu no início da década de 1990 na aviação agrícola, direcionada para percursos retos. O piloto se guiava por uma seqüência de LEDs (luzes) enfileiradas num pequeno painel, o que passou a ser denominado de barra de luzes. As luzes acendem na medida em que a aeronave se afasta do alinhamento predeterminado, induzindo o piloto a reagir e manter o avião na rota. Esse alinhamento é gerado pelo piloto na primeira passada, e as demais são sempre paralelas à primeira e afastadas da distância equivalente à largura de uma faixa de deposição, também definida pelo piloto antes do início da tarefa.



Figura x – O dispositivo denominado de barra de luzes com a fileira de LEDs, que acendem à medida que o veículo se afasta do alinhamento de referência.

As primeiras barras de luzes em aviões agrícolas no Brasil são de 1995 e os seus benefícios na aviação agrícola são incontestáveis. Até então o piloto era totalmente dependente de dois sinalizadores (operadores de bandeiras) que se posicionavam nas cabeceiras da lavoura e se deslocavam em distâncias equivalentes à largura das faixas de aplicação. O avião somente poderia voar em um segundo talhão, na mesma seqüência, se neste houvesse outros dois sinalizadores.



Figura x – Avião agrícola equipado com barra de luzes

O início do uso de barras de luzes para aplicações terrestres se deu na operação de pulverização (pulverizador autopropelido ou tracionado pelo trator) e utilizadas apenas na demarcação da primeira pulverização em uma lavoura já estabelecida, deixando marcados os rastros, os quais os operadores seguiam nas demais aplicações. As barras de luzes evoluíram para outras formas de visualização com a popularização das telas de cristal líquido e, posteriormente, das telas sensíveis ao toque.

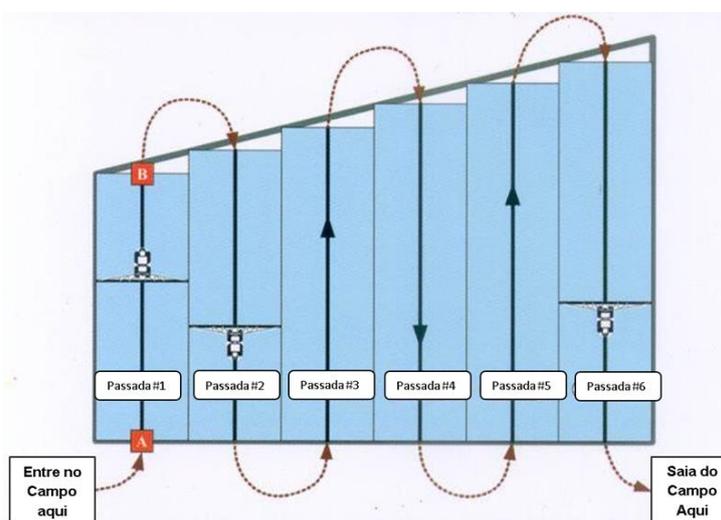


Figura x – Definição de um primeiro percurso reto com base na demarcação dos pontos A e B. Os demais são então gerados automaticamente e o operador os segue.

Fonte: *Folheto Raven*

Também no início da década de 2000 surgiram as soluções para percursos curvos, o que exigia mais atenção dos operadores aos indicadores visuais. Assim, as telas indicando percursos no formato de “estrada virtual” surgiram, facilitando ao operador a visualização e a previsão para reagir e esterçar

corretamente o veículo. Mesmo assim, os fabricantes tendem a manter o indicador tipo barras de luzes na parte superior ou inferior da tela para aqueles usuários que preferem esse tipo de indicador visual.



Figura x – Sistema de orientação com tela mostrando a estrada virtual e na parte superior a barra de luzes

Os sistemas de direção automática, também conhecidos como piloto automático para veículos agrícolas, são a evolução das barras de luzes. Basta o operador criar uma linha referência definindo o espaçamento entre as passadas que o *software* do equipamento replica infinitas passadas à direita e à esquerda da linha referência. O posicionamento do veículo é corrigido automaticamente por atuadores no volante ou diretamente no seu rodado. As manobras de cabeceira, no entanto, são feitas manualmente, bastando o operador retomar o controle.

Os primeiros produtos comerciais, no início da década de 2000, foram de controle eletro-hidráulico no sistema de direção hidráulica do veículo. O sinal, proveniente de um computador que integra vários outros sinais, é emitido diretamente às válvulas da direção hidráulica do veículo, que esterça automaticamente. Os componentes de um sistema de direção automática de controle eletro-hidráulico são, basicamente: o computador; um receptor GNSS; um sensor de angulação do esterçamento (no rodado esterçante); um sensor inercial, que notifica oscilações e também faz a compensação da inclinação vertical; e um atuador eletro-hidráulico da direção.

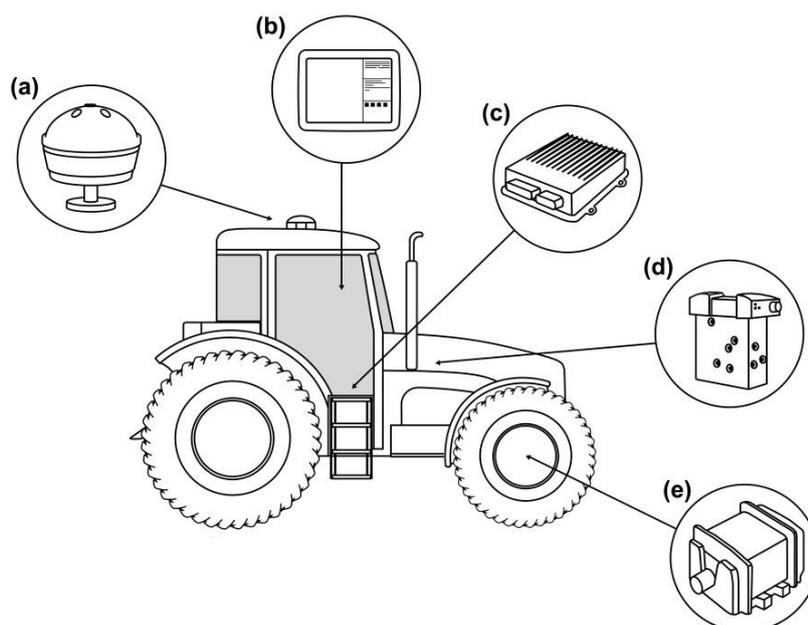


Figura x – Componentes de um sistema de direção automática de controle eletro-hidráulico: receptor GNSS (a); computador (b); sensor inercial (c); válvula atuadora eletro-hidráulica da direção (d); sensor de angulação do esterçamento (e) (Fonte: MOLIN et al., 2015)

Em meados da mesma década, surgiram soluções mais simples, como o uso de atuadores elétricos diretamente no volante ou na coluna de direção do veículo. Esses, embora mais simples e mais baratos, não apresentam a mesma exatidão. O atuador elétrico tem limitações quanto à resolução oferecida, exige maior tempo de resposta e incorpora as possíveis folgas existentes no volante do veículo.

O receptor GNSS é outro componente de grande importância no estabelecimento da qualidade do sistema e do seu valor de aquisição. Normalmente é de se esperar uma combinação de atuadores eletro-hidráulicos com receptores GNSS de maior exatidão e um atuador de volante com GNSS de menor exatidão.



Figura x – Sistema de direção automática com atuador tipo motor elétrico com roda de atrito (a) ou centrado na coluna da direção do veículo (b).

Há vários fatores responsáveis pela recente adoção de sistema de direção automática, que equipando um trator permite paralelismo entre passadas em operações agrícolas, com qualidade dificilmente obtida até então. Assim, permite a redução da superfície de solo trafegada, e por

consequência, compactada. Da mesma forma, permite a diminuição de danos às plantas (ou soqueiras, no caso da cana-de-açúcar) com a prática do controle de tráfego. Por ser uma solução que retira do operador da responsabilidade de acertar o percurso, reduz a sua fadiga e permite velocidades operacionais maiores. Também é importante o fato de que permite a operação noturna, sem visibilidade. À medida que o sistema gera as passadas virtuais paralelas e equidistantes entre si, cada uma será única, o que permite a operação com mais de um conjunto mecanizado na mesma área, ao mesmo tempo, e cada um iniciando em qualquer ponto da lavoura, bastando que sejam programados os percursos de cada um. Dessa forma, dependendo da configuração da máquina ou do conjunto mecanizado e da operação que está executando, o uso de sistema de direção automática poderá otimizar as manobras já que as saídas e as consequentes reentradas no talhão podem ser definidas pelo mínimo tempo de manobra, não obrigatoriamente na próxima passada adjacente. Todos esses aspectos resultam em aumento do rendimento operacional.

É importante destacar que o modo de utilização de sistemas de direção automática pode ser por repetição de passadas paralelas às anteriores, como com as barras de luzes. Porém, com a implementação de computadores de bordo mais potentes, os sistemas passaram a permitir percursos ou programados ou copiados de operações anteriores. Com os percursos guiados pela direção automática e sendo gravados no seu computador, esses poderão ser reproduzidos indefinidamente. Isso permite a integração das operações automatizadas sob uma mesma base de dados. Como exemplo, o plantio da cana-de-açúcar tem seus percursos gravados, que serão posteriormente utilizados, não apenas pela colhedora, mas pelo trator de transbordo e pelos equipamentos responsáveis pelos tratamentos culturais.

Para que os benefícios da tecnologia disponível sejam atingidos, a exatidão do sinal GNSS precisa ser compatível com a necessidade. Nesse caso, deve haver o julgamento para a correta escolha do sinal em cada aplicação, de forma que a exatidão necessária seja atendida. As melhores combinações atualmente possíveis apresentam especificações com exatidão média da ordem de 0,02 m.

O trator foi o primeiro veículo a ter sistemas de direção automática na agricultura. No entanto, ele existe para tracionar e acionar as máquinas e implementos que irão executar as operações, normalmente acoplados ao seu engate de três pontos ou pela sua barra de tração. O percurso definido pelo sistema de direção automática, portanto, será obedecido pelo rodado dianteiro do trator, o que não é obrigatoriamente o percurso da operação. Em muitos casos isso faz com que sejam necessários recursos de direcionamento também para o equipamento que esteja atrás do trator.

No caso de acoplamento pela barra de tração, um atuador tipo cilindro hidráulico desloca a máquina ou implemento lateralmente, fazendo com que a sua linha central coincida com aquela do trator. Para que o trator e a máquina tenham a mesma referência de posição, eles terão que ter antenas de GNSS independentes e o sistema atuará sempre alinhando esta com aquela do trator.

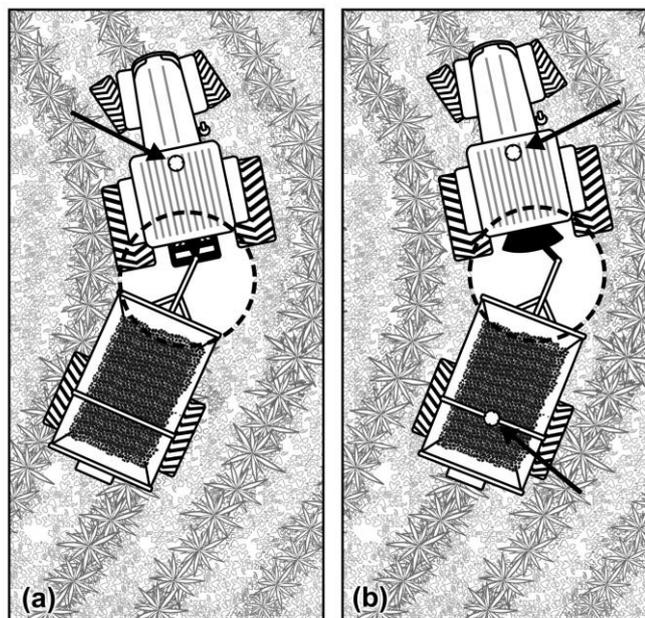


Figura x – Equipamento de arrasto sem sistema de direção automática (a) e com sistema de direção automática e antena de GNSS independente, indicada pela seta, da mesma forma que sobre o trator (b) (Fonte: MOLIN et al., 2015)

Com a junção de soluções de automação na direção e de controles de cabine, os tratores chegam à condição de autônomos. Recentemente têm surgido propostas, inclusive já comerciais, de tratores que não necessitam de operador e são “escravos” de outro onde há um “operador/supervisor” que acompanha a operação de dois ou mais desses tratores autônomos.

**Questões para estudo:**

1. Qual a função de uma barra de luzes para o operador do trator
2. Como a tecnologia de comunicação entre o trator e a sede da fazenda, conhecida como telemetria, pode efetivamente auxiliar na melhoria da utilização do referido trator?
3. A implementação de soluções de “eletrificação” do trator agrícola já teve início, especialmente na Europa. O que é essa “eletrificação” e para que serve?
4. Quais os tipos de sistemas de direção automática disponíveis para tratores?
5. Porque é necessário sistema de direção automática complementar em alguns equipamentos acoplados ao trator?
6. Os sistemas de direção automática para tratores já são tecnologia disponível, mas para se chegar ao trator autônomo (sem a presença de operador) na execução das manobras externas à lavoura (de cabeceiras) são necessários outros controles que envolvem a interface deste com a máquina ou implemento acoplado (comandos de cabine). Nesse sentido, como deve ser executado o passo-a-passo de uma manobra de cabeceiras?
7. Caracterize a necessidade de padronização de comunicação entre o trator e a máquina a ele acoplada:
  - a) Porque é necessária?
  - b) Como está sendo implementada?
  - c) Qual a função do terminal universal?

**Respostas:**

1. É um sinalizador visual que indica ao operador se está ou não seguindo na direção correta de um dado percurso.
2. A comunicação é para a transferência de dados funcionais do trator e da operação que se realiza. Assim o gestor toma conhecimento de alguma ocorrência em tempo real. Ao mesmo tempo, a partir dos dados funcionais das máquinas, por exemplo, são programadas as manutenções e trocas.
3. É a geração e disponibilização de energia elétrica para ser utilizada em comandos e acionamentos hoje realizados pela TDP e por potência hidráulica.
4. Sistema com atuador eletro-hidráulico na direção hidráulica, também denominado de integrado ou hidráulico e sistema de direção com atuador de volante ou de coluna da direção.
5. Porque o percurso definido pelo sistema de direção automática do trator será obedecido pelo seu rodado dianteiro, o que não é obrigatoriamente o percurso da operação. Isso faz com que sejam necessários recursos de direcionamento também para o equipamento que esteja atrás do trator.
6. Além de definir a manobra em si (giro) o trator deve ter comandos automatizados sequenciais para o acionamento da máquina na entrada e o seu desacionamento na saída numa sequência lógica e programável
7. a) Para racionalizar os processos e minimizar a necessidade de componentes eletrônicos em ambos  
b) A partir de uma norma ISO e ABNT (ISO 11783 ou ISOBUS)  
c) É a interface do operador com os programas rodados tanto no trator quanto na máquina ou implemento.

## Referências

MOLIN, J. P., AMARAL, L. R., COLACO, A. F. Agricultura de precisão. São Paulo: Oficina de Textos, 2015 p.238.