



bioetanol

DA CANA-DE-AÇÚCAR

**P&D PARA PRODUTIVIDADE
E SUSTENTABILIDADE**

Luís Augusto Barbosa Cortez

Coordenador

Blucher

FAPESP

Bioetanol de Cana-de-Açúcar
© 2010 Luís Augusto Barbosa Cortez

1ª edição – 2010
Editora Edgard Blücher Ltda.

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4ª andar
04531-012 – São Paulo – SP – Brasil
Fax 55 11 3079 2707
Tel 55 11 3078 5366
editora@blucher.com.br
www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed. do
Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa.
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer
meios, sem autorização escrita da Editora.

Todos direitos reservados pela Editora Edgard Blücher
Ltda.

FICHA CATALOGRÁFICA

Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e
sustentabilidade / Luís Augusto Barbosa Cortez,
coordenador. – São Paulo: Blucher, 2010.

Vários autores.
Vários organizadores.
ISBN: 978-85-212-0531-9

1. Agricultura sustentável 2. Biocombustíveis
3. Bioenergia 4. Biotecnologia 5. Cana-de-açúcar –
Indústria – Brasil 6. Etanol I. Cortez, Luís Augusto
Barbosa.

10-06180

CDD-636.9

Índices para catálogo sistemático

1. Bioetanol de cana-de-açúcar: Pesquisa e
desenvolvimento para produtividade e sustentabilidade:
Engenharia agrícola 636.9

INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO NA CADEIA CANA-ETANOL:

ALGUMAS OPORTUNIDADES NO MANEJO AGRÍCOLA

*Ricardo Yassushi Inamasu
Ladislau Martin Neto*

AGRICULTURA DE PRECISÃO

Aspectos gerais

A agricultura é um sistema produtivo muito complexo quando se inclui produção de sistema vivo em um meio vivo, interagindo com o ambiente e a sociedade. É fundamental que exista capacidade e tecnologia para um planejamento eficaz, gestão e funcionamento de todos os aspectos da agricultura. A viabilidade e a sustentabilidade da cadeia dependem da eficiência de todo o sistema.

A mecanização tem participado como ferramenta essencial no processo de expansão e produção de maior escala. Na cultura canavieira, devido às características próprias e também à inexistência de soluções a serem importadas, observa-se um empenho excepcional do setor no País para adaptar e implementar inovações às operações por meio de máquinas, tanto para o plantio como para a colheita.

A Agricultura de Precisão – AP foi considerada um passo à frente e até um refinamento do processo convencional. A primeira fase da AP trouxe foco em máquinas dotadas de receptores GPS – *Global Positioning System* e mapas de produtividade. Atualmente, o mundo avançou no tema para além da cultura de grão. O conceito pode ser aplicado em culturas nas quais a variabilidade espacial esteja presente. Gerenciar a variabilidade espacial e maximizar retorno econômico minimizando efeito ao meio ambiente é o objetivo da AP; portanto, pode ser considerada como uma estratégia de gestão que utiliza as tecnologias da informação para trazer os

dados de múltiplas fontes e apoiar as decisões relacionadas com a produção vegetal.

A aplicação da Agricultura de Precisão é fundamentada em três passos: leitura, interpretação e atuação, fechando-se em ciclo. A leitura caracteriza-se pela indexação do parâmetro de interesse numa posição geográfica, ou seja, os dados possuem parâmetros adicionais, como coordenada geográfica (latitude e longitude), além de outras informações como histórico (tempo).

Os dados, tendo indexação geográfica, permitem que sejam interpretados e analisados por meio de mapas e apoiados por ferramentas geoestatísticas. O estudo da dependência espacial das informações e correlações com outros parâmetros requerem mapas temáticos e uma quantidade massiva de dados fazendo ferramentas de Sistema de Informação Geográfica – SIG serem compostos ao arsenal integrado à Tecnologia de Informação – TI.

Os primeiros dados que impressionaram a todos foram os mapas de produtividade. O dado instantâneo de produtividade armazenado com a respectiva coordenada geográfica (latitude e longitude) possibilitou a montagem do mapa de produção. A interpretação inicial pôde ser realizada intuitivamente. Áreas de baixa produtividade foram facilmente reconhecidas e delimitadas. O impacto nos resultados da propriedade seria imediato se a causa da baixa produtividade fosse de fácil intervenção. As máquinas inicialmente disponíveis com monitor de colheita foram as de grão, favorecendo avanços da AP nas culturas de milho, soja e trigo. Para outras

culturas, seguiram-se esforços para a obtenção do mapa de produtividade, pois acreditava-se que era o parâmetro mais importante para orientar ações de manejo. Atualmente, a compreensão para outros parâmetros que correspondem à qualidade está sendo perseguida. Se, por um lado, busca-se maior retorno econômico por meio de aumento da qualidade ou produção, por outro, pode-se buscar uso racional de insumos, como os fertilizantes e agroquímicos em geral. O processo de identificação de subáreas, com a sua respectiva necessidade de insumo, tem apresentado avanços significativos, como no caso de fertilidade do solo e de infestação de plantas daninhas.

Na cultura cana-de-açúcar, os avanços no uso nas tecnologias de AP são mais modestos do que em cultivo de milho, a despeito da vantagem tecnológica da cana para produção de etanol. A disponibilidade no mercado de monitor de colheita em colhedora é recente (MOLIN e MENEGATTI, 2004; MAGALHÃES e CERRI, 2007) e ainda não se tem uma resposta comercial, ou seja, não há um número significativo de máquinas atuando no campo.

Muito provavelmente devido à dificuldade em se obter ferramentas e apoio que auxiliem na medida da variabilidade espacial do desempenho da cultura, o emprego de AP na cana tem sido predominante para correção do solo. Utiliza-se uma amostra composta por dois ou mais hectares para recomendação de aplicação de insumo à taxa variada, os relatos de sucesso na economia de fertilizantes são expressivos (MENEGATTI *et al.*, 2008; BARBIERI *et al.*, 2008; SANCHEZ, *et al.*, 2008). PEZETO *et al.* (2008) e BARBIERI *et al.* (2008) relatam o sucesso do uso da topografia como base para definição de zona de manejo e orientar a amostragem e recomendação para correção do solo.

O papel e o potencial da automação no processo agrícola

O papel da automação tem sido a substituição da mão de obra na busca pelo aumento da eficiência e competitividade. Apesar da existência da busca por tecnologias inovadoras para que a cultura da cana mantenha-se competitiva, ainda há espaço significativo para que a mecanização na forma mais convencional avance nas etapas de cultivo, plantio e colheita como discutido antes da automação entrar em cena.

Porém, com a Agricultura de Precisão, os erros considerados desprezíveis, frente às grandezas

encontradas no campo, tornam-se significativos. Sobreposição na aplicação de insumos e espaços deixados pelas máquinas começam a ser contabilizados. Qualidade na operação torna-se mensurável economicamente. Os processos de monitoramento e medidas no campo tendem a se intensificar, e esse requer uma quantidade de mão de obra qualificada pouco disponível no mercado brasileiro. Há, portanto potencial para sensoriamento automatizado.

A automação na nossa realidade tende para a busca da qualidade e minimização de erros. Outro papel importante da Agricultura de Precisão é a economia de insumo. A aplicação de insumos à taxa variada pode ser realizada, desde que haja máquinas automatizadas que possam aplicar de acordo com mapa de recomendação ou indicada por um sensor *on-the-go*.

Desafios da instrumentação e automação para o setor

A Agricultura de Precisão tem demandado um expressivo número de desenvolvimentos de instrumentos para automação como apresentado por AUERNHAMMER e SPECKMAN (2006). Tecnologias de sensoriamento remoto, estratégia de amostragem de solo, uso de GPS e GIS – Sistema de Informação Geográfico, entre muitos outros, estão sendo adaptados e desenvolvidos para o uso agrícola e, mais recentemente com o uso de sensores de reflexão observando alguns espectros de luz, têm se mostrado viável para identificar níveis de nitrogênio (SCHARF & LORY, 2000), matéria orgânica (ANOM *et al.* 2000), insetos (MICHELS *et al.*, 2000), plantas invasoras (BILLER e SCHICKE, 2000), entre outros, que tenham correlação por meio de espectroscopia de luz. Além de novos instrumentos, como Veris¹ para medir e construir mapa de condutividade elétrica do solo têm surgido no mercado.

A utilização de sensores ditos *on-the-go* é um dos grandes alvos da indústria e da pesquisa nesta área. A técnica, aproveitando o momento das práticas agrícolas realiza inspeção ou monitoramento da cultura, visando evitar custos operacionais adicionais. Porém, sua aplicação nem sempre é possível, em casos como monitoramento de pragas, doenças, níveis de nitrogênio na planta e outras variáveis da área cultivada, torna-se necessário entrar com instrumentos por terra na cultura, dificultando mui-

¹ Disponível em: <<http://www.veristech.com>>.

to a realização de uma amostragem eficiente. Por exemplo, para construir mapa de propriedade do solo, com resolução de 20 metros em uma área de 200 hectares, é necessário retirar 5 mil amostras, o que torna o processo inviável, caso seja realizado de forma manual.

Junto a essa realidade, há outros fatores, como: o altíssimo custo de mão de obra, o envelhecimento da população rural sem perspectivas de renovação, a necessidade de minimizar a exposição dos operadores a atividades insalubres e a preocupação com a conservação do equilíbrio ambiental. Todos esses fatores têm incentivado e justificado pesquisas em robôs agrícolas móveis por grupos, como os apresentados em KEICHER e SEUFERT (2000), REID *et al.* (2000) e TORII (2000). Em particular, as necessidades de preservação e de recuperação ambiental têm levado a um crescente número de trabalhos de pesquisa nessa área. Trabalhos como HAGUE, *et al.* (2000) e BLACKMORE e GRIEPENTROG (2006) têm apresentado soluções viáveis para o desenvolvimento de máquinas agrícolas semiautônomas ou autônomas que possibilitam operações mais precisas para reduzir custos e minimizar o impacto ambiental de tarefas agrícolas, como a aplicação de agroquímicos. Também se deve considerar que um robô agrícola móvel pode dispensar elementos de “conforto e ergonomia”, e os custos da eletrônica necessários para construção de um veículo estão cada vez mais acessíveis. Exemplos dessa eletrônica são os microprocessadores, câmaras de vídeo, comunicação digital, receptores GPS – Sistema de Posicionamento Global, entre outras.

Pelas razões anteriores, empresas como AGCO e John Deere têm buscado soluções para viabilizar as tecnologias de robôs agrícolas móveis. Também, o padrão internacional ISO 11783, para eletrônica embarcada em máquinas e implementos agrícolas, possui características para utilização de dispositivos, possibilitando a navegação (AUERNHAMMER e SPECKMANN, 2006). AUERNHAMMER (2004), em sua conclusão sobre tendências da eletrônica em Agricultura de Precisão, cita o potencial da robótica em máquinas e implementos agrícolas para operações agrícolas em busca da eficiência.

Têm surgido no mercado serviços de fotografias tanto por satélite como por aeronaves. Recentemente, têm surgido no mercado Veículos Aéreos Não Tripulados – VANT para realizar serviços de fotografias para setores de construção de obras. Houve avanços significativos nas últimas décadas.

Os vários trabalhos e contribuições em métodos de sensoriamento remoto possibilitam hoje uma melhor compreensão de como a refletância e emitância das folhas alteram-se em resposta à espessura e idade da folha, à espécie da planta, à forma da copa, estado nutricional e estado hídrico da planta. A presença da clorofila e sua absorção preferencial em diferentes comprimentos de onda fornecem a base para utilização com plataformas radiométricas de banda larga por satélite ou sensores “hiperespectrais” que medem a refletância em bandas estreitas. A compreensão da refletância das folhas leva a diferentes índices vegetativos para quantificar diversos parâmetros agrônômicos das culturas, por exemplo, a área foliar, cobertura vegetal, biomassa, tipo de cultura, estado nutricional e de rendimento. Emitância de dossel é uma medida da temperatura foliar, e os termômetros infravermelhos têm possibilitado criar índices de estresse de cultura atualmente utilizados para quantificar necessidades hídricas. A cultura da cana ainda carece de estudos e de metodologia para obtenção da variabilidade espacial.

As redes de comunicação têm proliferado em sistemas eletrônicos digitais e embarcados em variados veículos e instalações. Se, por um lado, existem soluções já adotadas e aceitas, por outro, o recente desenvolvimento das redes de sensores sem fio poderá ampliar ainda mais a presença da tecnologia eletrônica no campo. O uso de instrumentos transmitindo dados via rádio ou via infravermelho no ambiente agrícola é comum há algumas décadas. Há, atualmente, várias opções no mercado de estações climatológicas e de sistemas de automação de irrigação que se utilizam desses meios de comunicação. A vantagem óbvia é a grande facilidade de instalação e manutenção de sistemas operando sem fio no campo. Entretanto, diante das possibilidades de aplicações do que se designou de computação “pervasiva” ou sistemas ubíquos, estabelecidos por meio das redes de sensores sem fio distribuídos no campo e atravessando as porteiras, os benefícios serão inúmeros (WANG *et al.* 2006). Se a prática da AP nos modelos atuais permite uma economia potencial de insumos e menor contaminação ambiental, esse impacto positivo pode ser ainda mais significativo, se o controle de processos, como a pulverização, for auxiliado por uma ampla grade de sensores sem fio monitorando as plantas, o solo e o ambiente com informações espacializadas em tempo real.

A adoção da Agricultura de Precisão requer uma mudança de postura na gestão e passar a observar

a variabilidade como um dos elementos a ser considerado e gerenciado. Essa postura é considerada por muitos como uma mudança natural de paradigma, porém essa mudança exige comprometimento e muito investimento. Não se faz um investimento se o retorno for considerado incerto ou se o momento não for adequado. Ainda estão sendo exploradas as oportunidades e o potencial de retorno para essa cultura. A pesquisa deve ainda aprofundar e apresentar soluções criativas e aplicáveis.

Aponta-se ainda um desafio adicional para o setor devido à característica histórica e conservadora do sistema produtivo. Apesar da evidente mudança da gestão com entrada de empresas modernas e não tradicionais no setor, o campo ainda é administrado de forma que pode ser considerada tradicional e temerosa de uma mudança muito radical. Portanto, apenas tecnologias consagradas e economicamente comprovadas são absorvidas pela grande maioria. A participação do setor em quebras de paradigma ou no desenvolvimento de conhecimento a longo prazo é difícil, porém é o papel e o desafio da C&T envolver o setor para que aumente o potencial de inovação pelo conhecimento.

O advento da AP trouxe consigo uma quantidade relativamente grande de instrumentos eletrônicos, quer seja para auxiliar na navegação, quer seja na aplicação de insumos. A tecnologia eletrônica embarcada em máquinas agrícolas tem evoluído de forma muito intensa no vácuo de outros setores. O poder computacional disponibilizado às novas máquinas permite realizar operações agrícolas integradas ao Sistema de Informação da empresa. Tratores e implementos com conexão eletrônica intercambiável e com reconhecimento automático das funções ativas poderão ser instrumentos comuns de série. Porém, o que se observa é a solução proprietária de fabricante, resultado de esforços próprios para atender à demanda. Geraram-se, então, equipamentos e formatos de arquivo não compatíveis.

A conexão *on-line* com máquinas de diferentes fabricantes no campo tornaria possível a realização de operações coordenadas em tempo real, reduzindo tempos improdutivos, eliminando custos desnecessários e trazendo o aumento da eficiência. Isso somente é possível, se houver um padrão único de comunicação. Com essa abordagem, o protocolo ISO-11783 está sendo elaborado. O potencial de uso de padrão é real, pois agrega interesses de toda cadeia.

Padronização da eletrônica embarcada

A padronização da eletrônica embarcada em máquinas agrícolas tem sido um esforço mundial. Desde o início da Agricultura de Precisão, para que a tecnologia fosse amplamente adotada, a padronização de dados de sistema de informação e de comunicação entre equipamentos eletrônicos foi apontada como um desafio a ser vencido (INFORMATION, 1997). Grupos formados predominantemente por empresas fabricantes de máquinas agrícolas de Europa e EUA têm-se dedicado para elaborar a norma ISO-1178 (também conhecida como Isobus). Essa norma tem por objetivo prover um padrão para a interconexão de dispositivos eletrônicos embarcados em máquinas e implementos agrícolas por meio de uma rede de controle e comunicação serial. Em 2009, 11 das 14 partes previstas já estavam publicadas. Cada parte especifica tópicos importantes para a interconexão e abrangem não apenas a especificação de conectores e de valores elétricos, mas também a comunicação entre elementos inteligentes, compondo-os em uma rede digital multiponto. Apesar de o protocolo resultar em detalhes complexos e volumosos, com especificações desde funcionamento do motor até formatos de arquivos, a rede funcionará de modo transparente ao usuário. Bastará ao usuário ligar a máquina agrícola, conectar e inserir arquivo sem se preocupar com possíveis incompatibilidades entre modelos de fabricantes. A implicação imediata que tal protocolo traz à automação na cadeia da cana é a redução do custo de sua implementação e a possibilidade de instalar um sistema tecnológico mais atual. Portanto, a padronização afasta a possibilidade de o setor ter de aceitar uma tecnologia obsoleta e ultrapassada. Como todo protocolo dessa natureza, esse também não é fechado e os comitês estão preparados para receber contribuições. O setor tem oportunidade de levar as necessidades peculiares da cultura e ditar padrão internacional para a produção de cana-de-açúcar. A Figura 1 ilustra o interior de duas cabines de trator apresentadas por Hans Jürgen Nissen, da John Deere AMS Europe, no *Workshop* Isobus Brasil de 2007². A imagem da direita é uma cabine com instalações de painéis de vários implementos. Por ser

² *Workshop* Isobus Brasil 2007. Disponível em: <<http://www.isobus.org.br/workshop2007/>>.

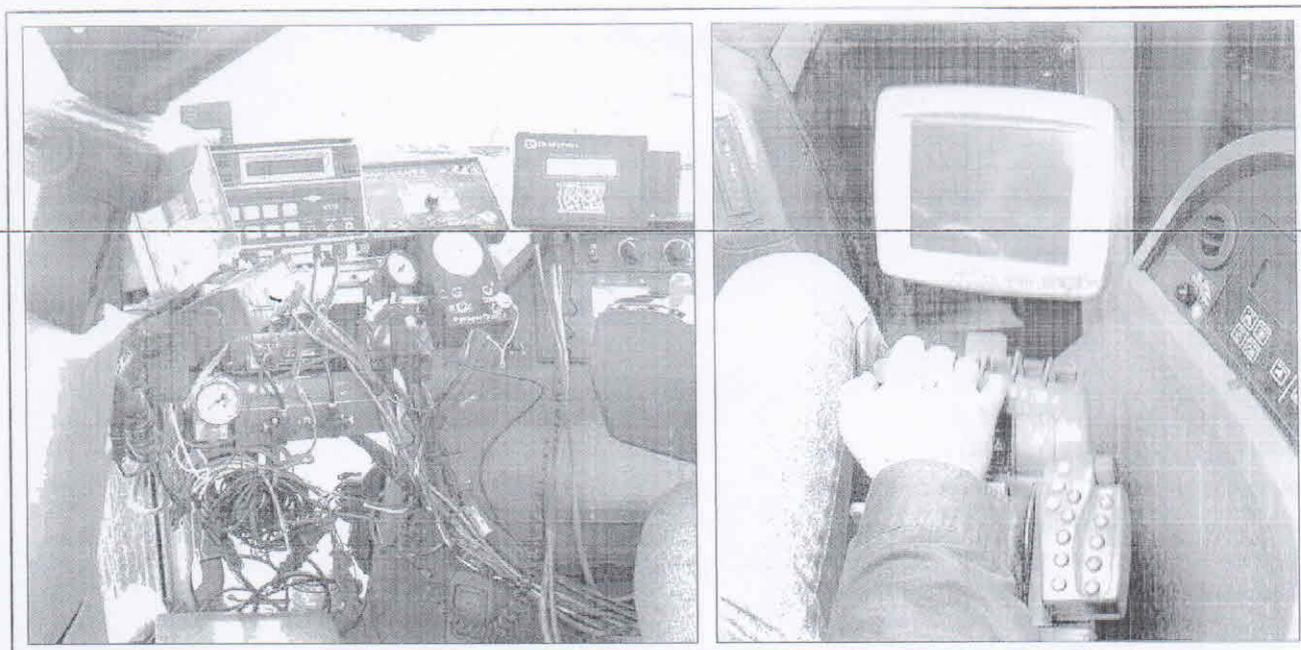


FIGURA 1 Imagens comparativas entre tratores com soluções proprietárias. Esquerda com Isobus e direita apresentada por Hans Jürgen Nissen, da John Deere AMS Europe, em 2007.

de solução proprietária, é instalado um mostrador/comando para cada implemento. A cabine da direita apresenta uma solução Isobus, em que tanto o mostrador como os comandos são reconfigurados para um novo implemento compatível. A solução tende a apresentar, no final, um custo menor.

Robótica agrícola

Por último, tem-se a robótica como uma das tecnologias emergentes na Agricultura de Precisão e com grande potencial de aplicação na lavoura de cana-de-açúcar em todas as etapas da cultura.

Os temas em desenvolvimento, como piloto automático, eletrônica embarcada (padronização) e sistema de informação canalizam e potencializam para a tecnologia da robótica na busca de mais precisão nas operações, segurança dos operadores e mais qualidade do campo e do material entregue à usina.

O sistema de piloto automático deve evoluir rapidamente para a automação nas manobras de cabeceira e a sincronização da colhedora com o transbordo. A tecnologia da robótica pode ser empregada para melhorar o processo da colheita de forma mais seletiva com menor gasto de potência. Mecanismos, sensores e atuadores eficientes para retirada do colmo na colheita e no plantio são um desafio que deve ser vencido com muita criatividade.

A robótica pode auxiliar a manipular esses elementos de forma produtiva.

Em consonância com o desenvolvimento de sensores em solo/plantas, sensoriamento remoto e tecnologia de interpretação de imagem, a aplicação de robôs aéreos (VANT), ou mesmo terrestres (Veículo Agrícola Autônomo, VAA) estão sendo desenvolvidos. Em outras culturas e em outros países, fatores como o altíssimo custo de mão de obra, o envelhecimento da população rural sem perspectivas de renovação, a necessidade de minimizar a exposição dos operadores a atividades insalubres e a preocupação com a conservação do equilíbrio ambiental têm incentivado e justificado pesquisas em robôs. Em particular, as necessidades de preservação e de recuperação ambiental têm levado a um crescente número de trabalhos de pesquisa nesta área. Trabalhos como de HAGUE *et al.* (2000) e apresentam soluções viáveis para o desenvolvimento de máquinas agrícolas semiautônomas ou autônomas que possibilitam operações mais precisas para reduzir custos e minimizar o impacto ambiental de tarefas agrícolas, como a aplicação de agroquímicos. Também se deve considerar que um robô pode dispensar elementos de "conforto e ergonomia" e, ainda, os custos da eletrônica necessária para construção de um veículo autônomo estão cada vez mais acessíveis como ferramentas até de uso pessoal

como microprocessadores, câmaras de vídeo, comunicação digital, receptores GPS (Global Positioning System ou Sistema de Posicionamento Global), entre outras.

Como citados anteriormente, grandes corporações, fabricantes de tratores como a AGCO, John Deere e Yanmar têm buscado soluções para viabilizar as tecnologias de VAA. O padrão Isobus para máquinas e implementos agrícolas prevê requisitos para utilização de dispositivos de orientação e possibilitar a navegação autônoma (JAHNS, 1997). AUERNHAMMER (2001), PEDERSEN *et al.* (2005), BLACKMORE *et al.* (2008) em conclusões sobre tendência da eletrônica em Agricultura de Precisão cita o potencial da robótica em máquinas e implementos agrícolas para trabalhos em operações agrícolas, buscando-se a eficiência e qualidade. A Figura 2 mostra uma concepção da AGCO, apresentada por BLACKMORE *et al.* (2008), que também ilustrou a capa da revista *Crop, Soil, Agronomy News* na edição de outubro de 2008 com a chama-

da Futuro da Agricultura de Precisão. São citadas características como agilidade, atividades noturnas e capacidade de executar grande número de operações repetitivas com acurácia. A realidade em cana não é diferente. O monitoramento da qualidade da lavoura (*status* de solo e planta, população de insetos e de plantas invasoras) para apontar necessidade de ações de intervenção localizada é um potencial. Os VANT e VAA são ferramentas que buscam baixo impacto por apresentarem baixo peso, e podem realizar tarefas que veículos tripulados teriam custos elevados para executar.

OPORTUNIDADES DE PESQUISAS EM INSTRUMENTAÇÃO PARA O MANEJO DA PALHA

As questões relacionadas às mudanças climáticas globais são de grande interesse e representam desafios importantes para a vida no Planeta, de um



FIGURA 2 Concepção artística de robô agrícola.

Fonte: BLACKMORE *et al.*, 2008.

modo geral, e são influenciadas decisivamente pelo consumo de combustíveis fósseis não renováveis, que tem contribuído para a elevação da concentração de gás carbônico na atmosfera e aumento o efeito estufa. Assim o tema cana-etanol tem conexão direta com a questão por representar alternativa viável, especialmente no Brasil, para a produção de combustível renovável, como o bioetanol. Contudo é fundamental que o sistema produtivo utilize práticas agrícolas conservacionistas e sintonizadas com o desenvolvimento sustentável. Uma das mudanças relevantes que está ocorrendo no manejo agrícola é a extinção das queimadas na colheita da cana que avança com o uso de máquinas, o que tem sido chamado comumente de cana crua. Na colheita com máquinas, uma quantidade relevante de palha da cana-de-açúcar é agora deixada no campo, e a destinação do material é uma questão atual e relevante para o melhor manejo da produção da cana, bem como o aproveitamento completo da biomassa produzida. Há intenção e interesse em aproveitar a palhada, em futuro próximo, na geração de bioetanol por meio de conversão *lignocelulósica*, um item da agenda da energia renovável em diferentes países. Contudo, o custo econômico dessa conversão ainda impede a sua utilização. Assim, o destino atual da palha nas usinas produtoras do Brasil tem sido contra a manutenção no campo e a queima para geração de vapor e energia elétrica nas plantas industriais. Há desafios para a recuperação e transporte da palhada devido à produção de grande volume de materiais de baixa densidade. Contudo, vale ressaltar que a manutenção da palhada no campo pode ser extremamente positiva para o solo e os efeitos de manejo, pois representa um material que pode manter o solo coberto, minimizando impacto das gotas de chuvas e, por consequência, processos erosivos; parte da biomassa da palha, quando decomposta, pode permanecer no solo e se incorporar como matéria orgânica, reciclando parte dos nutrientes e melhorando a estrutura dos solos. No entanto, as evidências sobre os potenciais benefícios, como aumento no teor da matéria orgânica do solo (que poderia configurar situação de sequestro de carbono no solo), quantidade ideal de palha a ser deixada no campo, entre outros aspectos são desafios atuais para a pesquisa. Nesse sentido, alguns grupos e instituições brasileiras dispõem de equipamentos e técnicas para monitorar a matéria orgânica e alterações do solo e suas propriedades nas condições de campo, como aspectos de fertili-

dade, incluindo aumento da capacidade de troca de cátions e disponibilização de nutrientes, compactação dos solos, retenção e infiltração de água, entre outros (MARTIN-NETO *et al.*, 1998 e VAZ *et al.*, 2001, 2005).

Nas questões relacionadas à matéria orgânica de solos no Brasil, uma série de pesquisas foram e vêm sendo conduzidas com o uso de instrumentação avançada, como analisadores elementares (CHNS), técnicas para fracionamento químico e físico dos solos, métodos espectroscópicos, como ressonância paramagnética eletrônica, ressonância magnética nuclear, fluorescência de luz UV-Visível, fluorescência induzida por *laser*, entre outras, com informações inéditas em estudos sobre conteúdo e qualidade da matéria orgânica em solos sob diferentes manejos, incluindo plantio direto, aplicações de lodo de esgoto e efluentes de estação de tratamento de esgoto, rotações de culturas, reações com pesticidas e metais pesados, efeitos da precipitação na humificação da matéria orgânica e outros (MARTIN-NETO *et al.*, 1994, 1998; BAYER *et al.*, 2000, 2004, 2006; MILORI *et al.*, 2002, 2006; PEREZ *et al.*, 2004, 2006). Mais recentemente SEGNINI (2007) e MARTIN-NETO *et al.* (2008) têm mostrado, em áreas de pastagens e com cana crua, o aumento no teor de carbono no solo, em comparação com áreas-referências, demonstrando o potencial para o sequestro de carbono no solo, um indicador que demonstra a elevada sustentabilidade dos sistemas de produção, especialmente relacionados às questões de aumento do efeito estufa. Assim, em pesquisas futuras na agenda do desenvolvimento do sistema produtivo da cadeia cana-etanol, as ferramentas da instrumentação e automação serão utilizadas de forma mais sistemáticas, e poderão trazer informações inéditas sobre o comportamento do solo e seus constituintes-chaves, como a matéria orgânica, em diferentes condições de manejo com diferentes quantidades de palha deixadas no campo, rotação de culturas, especialmente na renovação da cana, entre outros aspectos relevantes.

INDICAÇÕES DE OPORTUNIDADES PARA A PESQUISA EM AGRICULTURA DE PRECISÃO, AUTOMAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO

Em resumo, existe uma série de oportunidades nas aplicações da agricultura de precisão, automação e instrumentação na cadeia cana-etanol, como:

- nas amostragens e monitoramento de solos e plantas;
- com o uso de imagens;
- no monitoramento da colheita, com o uso de monitores de quantidade e qualidade da cana;
- nas intervenções na lavoura, como nas aplicações de insumos sólidos e líquidos;
- no cultivo, o que inclui projetos de novas máquinas;
- no uso de piloto automático com planejamento de percurso;
- no uso de recursos matemáticos e computacionais para utilizar toda informação;
- nas avaliações ambientais;
- na utilização e aplicação de resíduos agrícolas e agroindustriais;
- no desenvolvimento de sensores e ferramentas para rastreamento;
- no desenvolvimento do Isobus como aspecto fundamental para ampliar a versatilidade na utilização dos equipamentos de diferentes marcas;
- na automação da irrigação em cana, necessária em várias regiões do Brasil;
- medidores mais eficientes de brix;
- sensores para plantadoras;
- na utilização de métodos avançados da instrumentação para estudos sobre dinâmica e reatividade da matéria orgânica e propriedades do solo em função do manejo da palha, em áreas de cana-crua e rotação de culturas.

É um conjunto de ações que, com o potencial de ampliação e capitalização do setor, com canalização de investimentos públicos e privados, o número de oportunidade em instrumentação e automação deve avançar.

AGRADECIMENTOS

O presente capítulo foi baseado em Mesa Redonda intitulada "Agricultura de Precisão na Cadeia Cana-Etanol", no *Workshop Instrumentação e Automação na Cadeia Cana-Etanol*³, realizado em 29.11.2008, na Embrapa, Instrumentação Agropecuária, em São Carlos, SP, e que contou com os debatedores Drs. José Paulo Molin, da Esalq-USP, Piracicaba, SP; Maurício dos Santos Simões, da Companhia Nacional de Açúcar e Alcool – CNAA; e Ariovaldo Luchiari, da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. Os autores do capítulo agradecem pelas contribuições dadas pelos debatedores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANOM, S. W. I. M.; SHIBUSAWA, S.; SASAO, A.; SAKAI, K.; SATO, H.; HIRAKO, S.; BLACKMORE, S. Soil parameter maps using the real-time soil spectrophotometer. In: International Conference on Precision Agriculture, 5, Saint Paul, MN. ASA, CSSA, SSSA, In: CD-ROM, 2000.
- AUERNHAMMER, H. Precision farming – the environmental challenge. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 30, n. 1-3, p. 31-43, 2001.
- AUERNHAMMER, H. Off-Road Automation Technology in European Agriculture - State of the Art and expected Trends. In: Automation Technology for Off-Road Equipment, ASAE International Conference, Kyoto, Japão, 2004. Resumos... Kyoto, ASAE, 2004, p. 10-23.
- AUERNHAMMER, H.; SPECKMANN, H. Dedicated Communication Systems and Standards for Agricultural Applications. Chapter 7, Section 7.1 Communication Issues and Internet Use, ASAE CIGR Handbook of Agricultural Engineering, v. 7, p. 435-452, 2006.
- BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SANCHES, R. B.; PEZETO, R. J.; SIQUEIRA, D. S.; Dependência espacial dos custos de fertilizantes para aplicação em taxa variada em cana-de-açúcar. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2008, Piracicaba-SP. Anais... Piracicaba: Esalq, 2008. 1 CD-ROM.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUCK, J.; CERETTA, C. A. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. *Soil Tillage Research, Amsterdam*, v. 53, n. 2, p. 95-104, 2000.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUCK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um latossolo vermelho

³ Disponível em: <http://www.apta.sp.gov.br/cana/ver_work.php?work_id=64>.

- sob plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUCK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. Soil & tillage research, v. 86, p. 237-245, 2006.
- BILLER, R. H.; SCHICKE, R. Multi frequency optical identification of different weeds and crops for herbicide reduction in precision agriculture In: International Conference on Precision Agriculture, 5, Saint Paul, MN. ASA, CSSA, SSSA, In: CD-ROM, 2000.
- BLACKMORE, B. S.; GRIEPENTRONG, H. W. Mechatronics and Applications. In: CIGR – The International Commission of Agricultural Engineering, Handbooks of Agricultural Engineering. Michigan, USA: Axel Munack, 2006, p. 204-215.
- BLACKMORE, B. S.; FOUNTAS, S.; GEMTOS, T. A.; GRIEPENTROG, H. W. A specificatio for an autonomous crop production mechanization system. International Conference on Precision Agriculture and Other Precision Resources Management, 9, 2008, Denver, CO. Proceedings... Denver, 2008. CD-ROM.
- HAGUE, T.; MARCHANT, J. A.; TILLET, N. D. Ground based sensing systems for autonomous agricultural vehicles. Computers and Electronics in Agriculture, Amsterdam, v. 25, n. 1-2, p. 11-28, 2000.
- Information Systems, and Research Opportunities Committee on Assessing Crop Yield: Site-Specific Farming, National Research Council, Precision Agriculture in the 21st Century: Geospatial and Information Technologies in Crop Management, National Academy Press, Washington, D.C. 168 p, 1997.
- JAHNS, G. Automatic Guidance of Agricultural Field Machinery. Joint International Conference on Agricultural Engineering & Technology Exhibition, 15-18 dez., 1997, Dhaka, Bangladesh, p. 70-79.
- KEICHER, R.; SEUFERT, H. Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe. Computers and Electronics in Agriculture. v. 25, n. 1-2, p. 169-194, 2000.
- LOWENBERG-DEBOER, J.; GRIFFIN, T. W.; Adoption and Profitability of Precision Agriculture Worldwide: Implications for Brazil. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão São Pedro, SP – Esalq/USP, 2008, CD-ROM.
- MAGALHÃES, P. S. G.; CERRI, D. G. P. Yield Monitoring of Sugarcane. *Biosystems Engineering*, 96 (1), p. 1-6 3, 2007.
- MARTIN-NETO, L.; ANDRIULO, A. E.; TRAGHETTA, D. G. Effects of cultivation on the ESR spectra of different soil organic size fractions of a molissol. Soil Science, Baltimore, v. 157, n. 6, p. 365-372, 1994.
- MARTIN-NETO, L.; ROSSEL, R.; SPOSITO, G. Correlation of spectroscopic indicators of humification with mean annual rainfall along a temperate grassland climosequence. Geoderma, Amsterdam, v. 81, n. 3/4, p. 305-311, 1998.
- MARTIN-NETO, L.; TRAGHETTA, D. G.; VAZ, C. M. P.; CRESTANA, S.; SPOSITO, G. On the interaction mechanisms of atrazine and hydroxyatrazine with humic substances. *Journal of Environmental Quality*, v. 30, p. 520-525, 2001.
- MARTIN-NETO, L.; SEGNINI, A.; PRIMAVESI, O.; SILVA, W. T. L.; MILORI, D. M. B. P.; SIMÕES, M. Carbon sequestration in tropical pastureland: evaluation of mitigation potential in the livestock. LEARN – Livestock Emissions & Abatement Research Network. Disponível em: <<http://www.livestockemissions.net>>. Montevideo, Uruguay. 2008. 22 p.
- MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P.; GÓES, S. L.; KORN-DORFER, G. H.; SOARES, ROGÉRIO, A. B.; LIMA, E. A. Benefícios econômicos e agrônômicos da adoção de agricultura de precisão em usinas de açúcar. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2006, São Pedro, SP. Anais... Piracicaba: Esalq, 2006. 1 CD-ROM.
- MICHEL, G. J.; PICCINI, G.; RUSH, C. M.; FRITTS, D. A. Using infrared transducers to sense greenbug infestation in winter wheat In: International Conference on Precision Agriculture, 5, Saint Paul, MN. ASA, CSSA, SSSA, In: CD-ROM, 2000.
- MILORI, D. M. B. P.; GALETI, H. V. A.; MARTIN-NETO, L.; DIECKOW, J.; PÉREZ, M. González; BAYER, C.; SALTON, J. Organic matter study of whole soil samples using laser-induced fluorescence spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 70, p. 57-63, 2006.
- MILORI, D. M. B. P.; MARTIN-NETO, L.; BAYER, C.; MIELNICZUCK, J.; BAGNATO, V. S. Humification degree of soil humic acids determined by fluorescence spectroscopy. *Soil Science*, v. 167, n. 11, p. 739-749, 2002.
- MOLIN, J. P.; MENEGATTI, L. A. A. Field-testing of a sugarcane yield monitor in Brazil 2004. ASAE Annual International Meeting 2004, p. 733-744.
- PEDERSEN, S. M.; FOUNTAS, S.; HAVE, H.; BLACKMORE, B. S.; Agricultural robots system analysis and economic feasibility. *Precision Agric* (2006), n. 7, Springer Science, p. 295-308.
- PÉREZ, M. G.; MARTIN-NETO, L.; SAAB, S. C.; NOVOTNY, Etelvino Henrique; MILORI, D. M. B. P.; BAGNATO, V. S.; COLNAGO, L. A.; MELO, Wanderley J.; KNICKER, H. Characterization of humic acids from a Brazilian Oxisol under different tillage systems by

- EPR, ECG NMR, FTIR and fluorescence spectroscopy. *Geoderma*, Amsterdam, v. 118, p. 181-190, 2004.
- PÉREZ, M. G.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L. A.; CAMARGO, O. A.; BERTON, R.; BETTIOL, W. Laser-induced fluorescence of organic matter from a Brazilian oxisol under sewage-sludge applications=Fluorescência induzida por laser da matéria orgânica de um latossolo brasileiro tratado com lodo de esgoto. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 63, n. 3, p. 269-275, 2006.
- PEZETO, R. J.; MARQUES R., J.; PEREIRA, G. T.; SIQUEIRA, D. S.; BARBIERI, D. M.; Identificação de limites de zonas específicas de manejo utilizando autocorrelograma, em áreas sob cultivo de cana-de-açúcar. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2008, Piracicaba-SP. Anais... Piracicaba: Esalq, 2008. 1 CD-ROM.
- PILGRIM, R. A.; MURDOCH, A. J. A weed growth-rate model for an autonomous plant specific weed control robot. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 25, n. 1-2, p. 155-167, 2000.
- REID, J. F.; ZHANG, Q.; NOGUCHI, N.; DICKSON, M. Agricultural automatic guidance research in North America. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 25, n. 1-2, p. 155-167, 2000.
- SANCHEZ, R. B.; MARQUES JR., J.; PEREIRA, G. T.; BARACAT NETO, J.; CAMARGO L. A. Custos de fertilizantes para cultura de cana-de-açúcar com aplicação em taxa fixa e taxa variada sob diferentes formas de relevo. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2008, Piracicaba-SP. Anais... Piracicaba: Esalq, 2008. 1 CD-ROM.
- SCHARF, P. C.; LORY, J. A. Calibration of remotely-sensed corn color to predict nitrogen need, In: International Conference on Precision Agriculture, 5, Saint Paul, MN. ASA, CSSA, SSSA, In: CD-ROM, 2000.
- SEGNINI, A. Estrutura e estabilidade da matéria orgânica em áreas com potencial de sequestro de carbono no solo. 2007. 131 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2007.
- TORII, T. Research in autonomous agriculture vehicles in Japan. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 25, n. 1-2, p. 133-153, 2000.
- VAZ, Carlos Manoel Pedro; HOPMANS, J. W. Simultaneous measurement of soil penetration resistance and water content with a combined penetrometer-TDR moisture probe. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 65, n. 1, p. 4-12, 2001.
- VAZ, Carlos Manoel Pedro; IOSSI, M. D.; NAIME, J. de M.; MACEDO, A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; COOPER, M. Validation of the Arya and Paris water retention model for brazilian soils. *Soil Science Society of America Journal*, Nova York, USA, v. 69, n. 3, p. 577-583, 2005.
- VIEIRA, S. R.; CHIBA, M. K.; DIAS NETO, A. F.; PAULA, J.; Estabelecimento de zonas de manejo de fertilidade do solo para cana-de-açúcar em uma área comercial em sertãozinho, SP, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2008, Piracicaba-SP. Anais... Piracicaba: Esalq, 2008. 1 CD-ROM.
- WANG, N.; ZHANG, N.; WANG, M. Wireless sensors in agriculture and food industry-Recent development and future perspective. *Computer & Electronics in Agriculture*. 50:1-14 2006.