

Agricultura de precisão em cana-de-açúcar

Célia Regina Grego¹, Luciana Spinelli de Araujo¹, Luiz Eduardo Vicente¹,
Sandra Furlan Nogueira¹, Paulo Sergio Graziano Magalhães²,
Andrea Koga Vicente³, Sandro Roberto Brancalhão⁴, Daniel de Castro Victoria¹,
Edson Luis Bolfe¹

¹Pesquisadores, Embrapa Monitoramento por Satélite, Av. Soldado Passarinho, 303, Campinas, SP

²Professor Titular, FEAGRI/UNICAMP, Av. Candido Rondon, 501, CTBE/CNPEM, Campinas, SP

³Pós-Doutoranda UNICAMP - CEPAGRI, Cidade Universitária, Barão Geraldo, Campinas, SP

⁴Pesquisador, APTA/IAC, Centro de Cana, Rodovia Antonio Duarte Nogueira km 321, Ribeirão Preto, SP

*E-mails: celia.grego@embrapa.br, luciana.spinelli@embrapa.br, luiz.vicente@embrapa.br,
sandra.nogueira@embrapa.br, daniel.victoria@embrapa.br, edson.bolfe@embrapa.br,
graziano@feagri.unicamp.br, andrea.kvicente@gmail.com, brancaliao@iac.sp.gov.br

Resumo: No cenário atual de grande expansão e evolução tecnológica do setor canavieiro, o interesse pela agricultura de precisão é crescente. Contudo, para a adequada adoção da agricultura de precisão é necessário o domínio dos conhecimentos básicos para se coletar as informações sobre as variações espaciais do campo seguido da interpretação correta dos resultados. Neste capítulo são apresentadas teoricamente as relações entre a tecnologia de agricultura de precisão e a cana-de-açúcar quanto a aplicação da tecnologia no plantio a na colheita; a colheita da cana crua e seus efeitos no solo e na planta; o mapeamento de áreas de cana-de-açúcar utilizando imagens de satélite; a dinâmica do uso e cobertura das terras em áreas com cana-de-açúcar e as relações entre as áreas cultivadas e as usinas de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. Os estudos indicam que a agricultura de precisão é compatível quando aplicada à cana-de-açúcar, porém sua aplicação ainda é incipiente frente a realidade dos produtores de cana-de-açúcar. A adoção da tecnologia pode ser fortemente favorecida com o uso de geotecnologias onde é possível obter respostas cada vez mais rápidas e precisas frente aos novos desafios de expansão e tecnificação do setor canavieiro em suas diferentes escalas. A incorporação da agricultura de precisão na cultura da cana-de-açúcar desempenha papel fundamental no sistema de gerenciamento da propriedade agrícola e consequentemente no aprimoramento da produtividade das usinas e destilarias sucroalcooleiras brasileiras, com vistas a atender o aumento da demanda interna e externa de etanol e açúcar, o que se traduz numa nova filosofia de trabalho que representa a otimização da produção gerenciada de acordo com a variabilidade espacial.

Palavras-chave: Setor canavieiro, geotecnologias, variabilidade espacial, colheita de cana crua

Precision agriculture in sugarcane crops

Abstract: The current scenario of great expansion and technological evolution in the sugarcane industry produces a growing interest in precision agriculture. Nevertheless, basic knowledge on how to collect information on spatial variation of the field and for the correct interpretation of the results is necessary for an adequate use of precision agriculture. In this chapter we present the theory behind the relationships established between the technology involved in precision agriculture and sugarcane in terms of the use of this technology in planting and in harvesting; the harvest of green sugarcane and its effects on soil and plant; the mapping of sugarcane areas using satellite images; the dynamics of land use and land cover in sugarcane areas; and the relationships between crop areas and sugarcane mills in the state of São Paulo. Studies indicate precision agriculture's compatibility with sugarcane, but its use is still incipient due to the reality faced by sugarcane producers. The adoption of this technology may be strongly favored by the use of geotechnologies, which enable obtaining, ever more quickly and precisely, answers to the new challenges posed by the expansion and technification of the sugarcane industry in its different scales. The incorporation of precision agriculture in sugarcane crops plays an essential role in the agricultural properties' management

system, and consequently in increasing the productivity of Brazilian sugarcane mills and distilleries with the aim of addressing the increase in national and international demand for ethanol and sugar, and thus translates itself in a new production philosophy represented by production optimization managed according to spatial variability.

Keywords: Sugarcane industry, geotechnologies, spatial variability, green sugarcane harvest

1. Introdução

Os produtores do setor canavieiro buscam cada vez mais tecnologias agrícolas competitivas, tanto para maiores retornos financeiros, quanto para menores impactos no ambiente.

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo com resultados de produção de safra 2011/2012 de 607.852 mil toneladas e o estado de São Paulo é o maior produtor do país (PAVLÚ, 2012) com 56,4% desta produção segundo MAPA (BRASIL, 2012a). As áreas cultivadas com cana-de-açúcar sofreram uma grande expansão no Estado de São Paulo e esta expansão ocorreu frente as alterações motivadas pelo protocolo Etanol Verde, iniciativa do governo do estado de São Paulo e do setor sucro-energético (SÃO PAULO, 2013), que antecipou o prazo da extinção da queima para a colheita da cana-de-açúcar de 2021 (Lei Estadual 11.241, promulgada em 2002) para 2014.

Hoje com a evolução do setor canavieiro, observamos que o produtor passa a ter preocupação crescente com o meio ambiente, forçado pela necessidade de comprovar a viabilidade do etanol como fonte de energia alternativa viável economicamente e ambientalmente. Neste cenário surge o interesse crescente pela agricultura de precisão. A agricultura de precisão, de uma forma geral, tem por objetivo otimizar os usos de insumos no setor, focando o aumento de produtividade por área e a diminuição de impactos ambientais. Contudo a adoção da tecnologia de agricultura de precisão não pode ser realizada adequadamente sem o domínio dos conhecimentos básicos necessários para se coletar as informações necessárias sobre as variações locais do campo, e a interpretação correta dos resultados. O grande desafio da agricultura de precisão está primeiramente na medição de parâmetros de solo, planta e clima com suficiente frequência espacial e temporal nas áreas de produção e em segundo

lugar na determinação da correlação desses parâmetros com a produtividade.

Embora altamente mecanizada, a cultura da cana-de-açúcar ainda requer sistemas de produção amparados por técnicas baseadas em agricultura de precisão. Ainda que no final dos anos 1990 se observe no setor sucroalcooleiro tanto no Brasil como na Austrália um interesse crescente pelo uso de monitores para obtenção de mapas de produtividade de cana-de-açúcar, não se tem registro de usinas que tenham realmente implementado um conjunto amplo de recursos de agricultura de precisão. Em meados dos anos 2000 aumentou o interesse das usinas por aplicação de fertilizantes a taxas variadas, contudo esta aplicação era realizada com base em análises simplificadas de agricultura de precisão subsidiadas por baixo número de amostras de solos e sem correlação com a produtividade real da área. Mais recentemente observa-se uma grande demanda pela tecnologia de piloto automático, alavancada pela disponibilidade de sistemas de posicionamento de alta precisão com erros inferiores a 20 mm quanto ao posicionamento cinemático em tempo real (RTK), que permitiram ganhos reais no gerenciamento do sistema, através do plantio preciso viabilizando a redução de perdas durante a colheita, principalmente noturna, e melhor rendimento operacional.

Nos anos 2000, portanto, tem-se uma retomada do crescimento da produção de cana-de-açúcar sob uma nova égide de tecnificação, dirigida por exigências de (i) alta produtividade, (ii) desenvolvimento biotecnológico de novas variedades de plantas, (iii) certificação ambiental visando o mercado internacional, (iv) necessidade de substituição da matriz energética, (v) regulação ambiental para a extinção da queima na fase de colheita. Esse novo conjunto de demandas abre espaço para a efetiva busca da otimização de produção proporcionada pelos métodos e técnicas da Agricultura de Precisão.

Procurou-se apresentar teoricamente neste capítulo as relações entre a agricultura de precisão e a cana-de-açúcar quanto: a aplicação de agricultura de precisão no plantio a na colheita; a colheita da cana crua e seus efeitos no solo e na planta frente a agricultura de precisão; o mapeamento de áreas de cana-de-açúcar utilizando imagens de satélite; a dinâmica do uso e cobertura das terras em áreas com cana-de-açúcar e as relações entre as áreas cultivadas e as usinas de cana-de-açúcar no estado de São Paulo.

2. Agricultura de precisão aplicada a cana-de-açúcar no plantio e na colheita

Um dos passos essenciais para a implementação do sistema de agricultura de precisão é a obtenção de dados de produtividade da cultura. Para cultivos como cereais, de grande expressão econômica no mundo, existem vários monitores de produtividade disponíveis, produzidos por diferentes fabricantes, contudo para culturas como a cana-de-açúcar são ainda poucas as opções disponíveis comercialmente para o monitoramento da produtividade. Diversas técnicas já foram descritas para determinar a variabilidade espacial da produtividade, entre elas o uso de transbordos instrumentados com células de carga, GPS e um sistema de aquisição de dados (WHEELER et al., 1997). O sistema mostrou precisão razoável, porém exige a instrumentação de todos os transbordos da usina tornando esta solução economicamente inviável. Um dos primeiros modelos de monitor de produtividade que se tem registro foi apresentado por Cox, Harris e Pax (1997). O sistema era baseado na determinação da pressão hidráulica dos rolos alimentadores, na variação do fluxo hidráulico e velocidade de deslocamento da colhedora. Devido ao desgaste dos componentes hidráulicos e mudança de viscosidade do fluido em função da temperatura este monitor não apresentou um bom desempenho. Uma busca pela literatura permite verificar que existem hoje uma grande variabilidade de dispositivos que foram propostos e avaliados para serem utilizados para o monitoramento da produtividade da cana (MOLIN; MENEGATTI, 2004; PRICE; LARSEN;

PETERS, 2007; MAGALHÃES; CERRI, 2007) sendo que cada um deles apresenta vantagens e desvantagens operacionais. O princípio de medição que apresentou melhor resultado entre os descritos na literatura está o sistema baseado em determinar o fluxo mássico que passa pelo elevador da colhedora. Este é o princípio de medição utilizado pelo sistema de mapeamento de produtividade de cana-de-açúcar (SIMPROCANA) um dos poucos monitores disponíveis comercialmente, que é baseado no dispositivo desenvolvido por Magalhães e Cerri (2007). O sistema inclui um conjunto sensor de fluxo de massa montado no final do elevador da colhedora, receptor DGPS, e um sistema de aquisição de dados. Este sistema tem sido utilizado com sucesso por alguns pesquisadores no Brasil (CERRI; MAGALHÃES, 2012; RODRIGUES JUNIOR; MAGALHÃES; FRANCO, 2012; RODRIGUES JUNIOR et al., 2013), e comercialmente na Colômbia onde 5.000 mil hectares são monitorados anualmente e os mapas de produtividade utilizados no manejo da cultura, servindo de base para recomendação de adubação à taxa variada, tratos culturais diferenciados e no preparo da logística de corte carregamento e transporte. Os benefícios apresentados pela usina incluem redução do gasto total com fertilizantes e incremento de produtividade na ordem de 4 toneladas por hectare.

O SIMPROCANA ao longo destes anos sofreu várias modificações e a versão atual tem mostrado se tratar de um equipamento robusto e confiável para o fim que se destina. Um bom exemplo de seu desempenho são os resultados obtidos por Rodrigues Junior, Magalhães e Franco (2012) em experimento conduzido na Usina São João de Araras, SP. A área experimental sofreu um incêndio acidental que afetou aproximadamente 3 ha, cerca de 30% da área. Nesta região a cana voltou a brotar, mas nitidamente apresentou resultados de produtividade bem inferiores, que foram registrados com precisão pelo monitor (Figura 1).

O plantio de precisão ainda está muito distante da realidade dos produtores de cana-de-açúcar. Nos últimos anos o plantio mecanizado cresceu significativamente e atinge hoje cerca de 30% da área plantada na região centro-sul (IDEAONLINE, 2013). Contudo estas máquinas são ainda de baixa

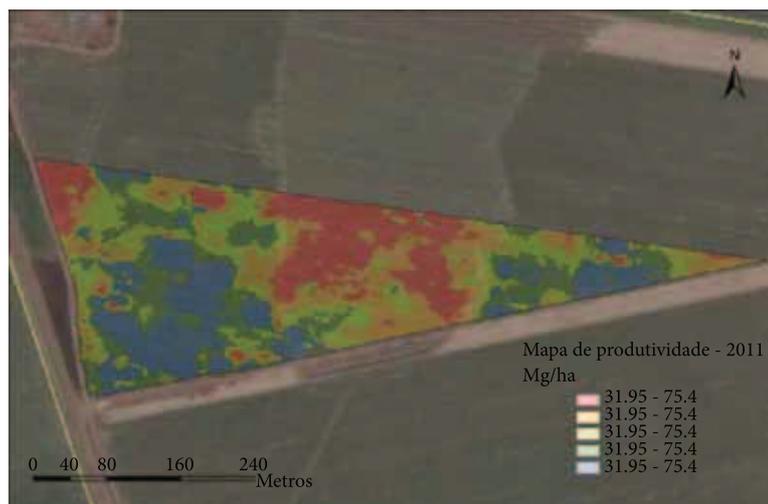


Figura 1. Mapa de produtividade produzido utilizando o SIMPROCANA.



Figura 2. Plantio mecanizado de cana, (a) desuniformidade na distribuição de rebolos (b) Plantio de precisão projeto CTBE/CNPEM (c) Equipamento para plantio de MBP (Landell et al., 2012)

eficiência e fazem uma distribuição de rebolos no sulco de forma imprecisa (Figura 2a).

Existem algumas iniciativas de grupos de pesquisa como do CTBE/CNPEM de investigar o desempenho de produtividade oriundos de sistemas de plantio de precisão (Figura 2b e 2c). Os resultados embora incipientes são promissores, e justificam o investimento em projetos de desenvolvimento em plantadoras que consigam realizar o plantio de cana de forma precisa a exemplo do que acontece já há muitos anos com cereais. O plantio de precisão poderá ser feito através de mudas pré-brotadas, ou “MPB”, como é chamado o sistema desenvolvido pelo Programa Cana do Instituto Agrônômico (IAC). Esse sistema

aumenta a uniformidade nas linhas de plantio e, conseqüentemente, a redução de falhas, diminui o número de gemas e de toneladas de colmos na operação de plantio mecanizado, viabilizando o que será o plantio de precisão no futuro próximo em cana-de-açúcar (LANDELL et al., 2012)

3. Colheita da cana crua e seus efeitos no solo e na planta frente a agricultura de precisão

Diante das proporções das mudanças que vem ocorrendo no cultivo da cana-de-açúcar e também da sua importância econômica, a

agricultura de precisão passa a ser uma ferramenta imprescindível para o gerenciamento deste setor. Contudo, para que isso ocorra, as alterações no sistema solo-planta-atmosfera, resultantes da colheita da cana sem queima e manejos derivados, precisam ser entendidos e mapeados de acordo com as prerrogativas das técnicas de agricultura de precisão.

Em decorrência da colheita mecânica da cana crua, uma espessa camada de palha fica depositada sobre o solo (Figura 3). Segundo Christoffoleti et al. (2007), esta camada de palha pode atingir valores de 8 até 20 Mg ha⁻¹, oscilando em razão da variedade e idade do canavial.

No entanto, pouco se conhece a respeito da distribuição espacial desta cobertura na superfície após a colheita da cana-de-açúcar mecanizada. A análise geoestatística é uma ferramenta de grande auxílio na identificação desta variabilidade espacial por considerar que amostras vizinhas são mais parecidas do que as mais distantes e para dados dependentes espacialmente permite estimar valores nos locais não amostrados sem tendência e com variância mínima (VIEIRA; XAVIER; GREGO, 2008). Com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial na distribuição da cobertura vegetal, no sistema de colheita mecanizada da cana-de-açúcar, Ferreira et al. (2013) identificaram que a variedade RB85-5113 produziu em média 9,81t ha⁻¹ de cobertura vegetal seca e apresentou variabilidade espacial na distribuição da cobertura vegetal sobre o solo, após a colheita mecanizada e consequentemente na brotação da cana soca. Com a espacialização também foi possível detectar que onde ocorreu maiores quantidades de cobertura vegetal, também foi observada maior incidência de brotação.

A palhada, esse novo componente no sistema de cultivo da cana-de-açúcar, tem acarretado alterações na escolha dos cultivares, na forma de renovação do canavial (preparo do solo), no manejo de adubação da cana planta e cana soca, assim como no controle de invasoras, pragas e doenças (e.g. tratos culturais, práticas de cultivo). Procurou-se detalhar a seguir estas possíveis alterações frente a mudança no sistema de colheita para os principais aspectos fitotécnicos da cultura da cana-de-açúcar.

Escolha do cultivar: A maioria das variedades de cana-de-açúcar disponíveis atualmente foram desenvolvidas em sistema de cana queimada, e

cada variedade pode apresentar resposta diferente quanto à adaptabilidade, não apenas em aspectos físicos, mas também quanto às particularidades do manejo (SOUZA et al., 2005). Frequentemente a existência de variabilidade espacial do solo não é considerada para o estudo de testes de novas cultivares, contudo, a uniformidade do solo raramente existe e não pode ser pressuposta sem uma adequada averiguação (VIEIRA; XAVIER; GREGO, 2008). Grego, Vieira e Xavier (2010) encontraram dependência espacial para a maioria dos atributos do solo em área teste de desenvolvimento da variedade de cana no Centro do Cana do Instituto Agrônomo (IAC). A amostragem permitiu boa representatividade da dependência espacial do solo e das plantas sendo descartada a hipótese de aleatoriedade para disposição de parcelas para estudo de variedade na área estudada.

Preparo do solo e colheita: A manutenção da palha sobre o solo implica em etapas de preparo do solo similares ao sistema de plantio direto (MARTINS et al., 1999). Isso resulta na eliminação do preparo do solo para efetuar o plantio. Contudo, para se reformar uma área com cana-de-açúcar, é necessária a destruição da cultura anterior, operação que pode ser realizada mecânica ou quimicamente. Em relação à conservação do solo, a destruição da soqueira remanescente com herbicida, seguida da sulcação na entrelinha, oferece melhores resultados, porque o solo não fica descoberto (ORLANDO FILHO; ZAMBELLO, 1983). O sistema radicular da cana-de-açúcar contribui com o conteúdo de



Figura 3. Palha em cultivo de cana-de-açúcar após sistema de colheita de cana crua. Catanduva, SP. Foto: Célia Grego

N (22 a 80 kg ha⁻¹) e S (4 a 14 kg ha⁻¹) nas raízes e rizomas, que, ao final da soca, relacionam-se positivamente com a produtividade de colmos na soca seguinte (VITTI et al., 2007). Nos eventos das colheitas da cana planta e da cana soca, a colhedora movimentando-se sobre o talhão, atua como agente compactador. As variações de manejo levam a uma maior reflexão sobre onde executar as coletas para análise de fertilidade e física do solo. Neste caso, o mapeamento de bases de informação do ambiente, solo e planta, importante ferramentas oferecidas pela agricultura de precisão, trazem grande contribuição para o entendimento deste processo.

Manejo da adubação: Os resíduos culturais que permanecem sobre o solo após a colheita mecanizada promovem a ciclagem de alguns nutrientes, com destaques para o N, S e C, que irão provocar mudanças significativas no manejo da cultura e influenciar a adubação de soqueiras (URQUIAGA et al., 1997; RESENDE et al., 2006). A manutenção da palhada sobre o solo proporciona melhoria em suas propriedades físicas, químicas e biológicas, além de favorecer a sua conservação (CANELLAS et al., 2003). A produtividade da cana-de-açúcar está relacionada diretamente à adubação nitrogenada, uma vez que o N é um dos nutrientes limitantes à produtividade e longevidade das soqueiras de cana-de-açúcar (VITTI, 2003). Na cana crua são raros os relatos em que, no final de um ciclo agrícola, a cultura utiliza mais de 40% do nitrogênio do fertilizante (FRANCO et al., 2008). Esse aproveitamento reduzido é atribuído, em parte, à intensa imobilização microbiológica em solo que contém material vegetal de elevada relação C:N (GAVA et al., 2001). O N imobilizado, que pode ficar no solo, torna-se uma fonte residual potencial para a cultura nos ciclos subsequentes da cana-de-açúcar (VITTI et al., 2007).

Atualmente a adubação nitrogenada não vem sendo recomendada no plantio da cana-de-açúcar, ou, quando recomendada, ela é feita em pequenas doses (30 kg ha⁻¹). Segato et al. (2006) atribuem a ausência de resposta da cana-planta à adubação nitrogenada à mineralização da matéria orgânica que ocorre durante o preparo do solo, às reservas existentes no tolete e ao sistema radicular extenso e profundo. Além disso, a cana-de-açúcar forma associações com bactérias fixadoras de N₂ do ar atmosférico (DÖBEREINER; DAY; DART, 1972; URQUIAGA; CRUZ; BODDEY, 1992). Na

adubação nitrogenada de soqueiras, o principal fertilizante a úreia, quando aplicado sobre os resíduos culturais presentes no solo, apresenta elevadas taxas de perda por volatilização de NH₃, variando de 20 a 40 % do N aplicado (FRENEY et al., 1994; CANTARELLA et al., 2008), em decorrência da ação da urease do solo e da palha (TRIVELIN et al., 2002). Outras fontes de nitrogênio, como nitrato de amônio, nitrato de cálcio e sulfato de amônio, não estão sujeitas às perdas por volatilização de N-NH₃ em solos ácidos (CANTARELLA, 1998).

Além do nitrogênio, o manejo da adubação potássica também sofre interferência da presença de palha sobre o solo. Estudos sobre a liberação do K presente na palhada, concluíram que o potássio foi o elemento mais liberado pela palhada de cana (média de 93%), de um ano para o outro. Sabe-se que os solos tropicais brasileiros apresentam baixo teor de potássio trocável (PROCHNOW; CASARIN; STIPP, 2010) e que a cana-de-açúcar responde de forma expressiva à aplicação do fertilizante potássico, nestas condições (KORNDÖRFER; OLIVEIRA, 2005). Com relação ao fósforo, resultados apresentados por Busato et al. (2005) indicaram que o manejo da cana crua possibilitou maior conteúdo de P em todos os compartimentos analisados. A manutenção da palha e a adição de vinhaça alteraram a distribuição das frações de P no solo, com diminuição da participação das formas não-lábeis e aumento das formas lábeis. Canellas et al. (2003) observaram aumento significativo no conteúdo de P disponível em um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar que não efetuou a queima do canavial antes da colheita durante longo tempo.

Os procedimentos para coleta de amostras de solo em agricultura de precisão ainda representam uma dificuldade operacional para o agricultor. Não é fácil garantir que uma amostragem tenha boa representatividade espacial do estado de fertilidade de um talhão, a começar pelas interferências provocadas pela coleta de subamostras em linhas de adubação de safras anteriores. Segundo Anchieta (2012), nos moldes atuais, o dimensionamento da adubação utilizando a agricultura de precisão depende de amostras que são coletadas no intuito de representar áreas, dependendo da grade amostral empregada.

Obviamente, quanto mais densa a amostragem de um talhão, maior a fidedignidade dos mapas de fertilidade gerados, desde que os dados atípicos sejam eliminados. O autor ressalta ainda que a geração dos mapas depende de cuidados, desde a amostragem até a forma de cálculo e interpretação, e na maioria das vezes, para se obter mapas confiáveis há necessidade de coletar grande quantidade de amostras, resultando em custos elevados de aplicação da técnica, no entanto, quanto maior a precisão do mapa diagnóstico, a adubação a taxa variável pode gerar mais economicidade ao produtor. Molin (2000), cita que a densidade amostral que vem sendo comumente utilizada para detectar a variabilidade espacial do solo por parte dos produtores brasileiros varia em torno de uma amostra de solo a cada 5 ha para áreas mais homogêneas, e uma amostra a cada 3 ha para áreas mais heterogêneas.

Manejo de invasoras: Espécies menos afetadas pela presença da palha podem ser selecionadas no tempo e no espaço, tornando-se problemáticas nos canaviais. A agricultura de precisão pode ser uma ferramenta útil para determinar mapas de infestação de plantas daninhas. Monquero et al. (2008) identificaram as diferenças entre o banco de sementes de área cultivada com cana colhida mecanicamente e o de área colhida após a queima, utilizando-se técnicas de agricultura de precisão. O talhão de cana crua apresentou menor potencial de infestação de plantas daninhas em relação ao talhão de cana queimada, principalmente monocotiledôneas, portanto, a palha de cana-de-açúcar em sistemas de cana crua pode ser utilizada como fator de supressão de várias espécies.

Manejo de pragas: A manutenção da palhada sobre o solo apresenta consequências sobre as infestações de pragas, de modo que frequentemente são descritas áreas com aumento na infestação de cigarrinhas (*Mahanarva fimbriolata*), que se têm caracterizado como uma das principais pragas em áreas de cana colhida crua (GARCIA et al., 2007). A distribuição espacial de cigarrinha foi estudada espacialmente em campo de colheita mecanizada de cana crua, utilizando-se a geoestatística por Dinardo-Miranda et al. (2007). A praga se distribuiu de forma agregada na cultura e esse padrão não se alterou ao longo do tempo, nem foi influenciado pelo nível de infestação. A análise geoestatística revelou que seriam necessários até

três pontos de amostragem por hectare para uma estimativa confiável da densidade populacional da área.

Reforma do canavial: O aporte de resíduos da cultura da cana é o principal responsável pela variabilidade espacial da palhada na superfície, pois quanto mais diversa a comunidade vegetal, mas heterogênea será a serrapilheira (o resíduo de plantas sobre o solo) em pontos adjacentes. Nos últimos anos, a reforma tem representado somente 8% do total de canaviais implantados, mas o potencial é para cerca de um milhão de hectares anuais somente na região Centro Sul. Bolonhezi, Mutton e Martins (2007) em mais de 10 anos pesquisas realizaram validações comerciais conduzidas sobre a viabilidade da adoção do plantio direto na reforma de cana crua, as quais apresentam resultados favoráveis para soja, amendoim, leguminosas, adubos verdes e para cana-de-açúcar plantada na seqüência. Na reforma com soja, a escolha de variedades de ciclo curto, para coincidir com o período disponível para reforma do canavial, varia conforme a região e clima da localidade. Para isto, os usineiros e produtores de cana devem contar com o zoneamento de áreas de reforma de canavial para produção de soja, a partir do cruzamento do zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar e o zoneamento de risco climático da cultura de soja.

4. Mapeamento de áreas de cana-de-açúcar utilizando imagens de satélite

As geotecnologias, definidas aqui como o conjunto de métodos e técnicas para aquisição, modelagem e análise de dados geoespaciais, por vezes obtidos através de sensoriamento remoto insere-se como suporte fundamental para a Agricultura de Precisão, seja no seu aspecto tradicional de acompanhamento da propriedade, no município ou no âmbito regional, reiterando a necessidade do mapeamento e monitoramento multiescala.

O mapeamento de alvos como a cana, de amplo crescimento, num quadro de heterogêneo uso da terra como é o Brasil continua desafiador, visto que envolve o monitoramento de diversos outros alvos agrícolas (e.g. soja, milho, pastagens). Este desafio

permanece mesmo com iniciativas eficientes como a do projeto Canasat (RUDORFF et al., 2010), que desde 2003 mapeia as áreas cultivadas com cana-de-açúcar na região Centro Sul do Brasil. Os dados de área são gerados a partir de imagens dos satélites Landsat, CBERS e Resourcesat-I, com os resultados embasando a análise anual de colheita da cana. Os resultados do projeto mostram que entre as safras de 2003 e 2012 a expansão da área cultivada com cana-de-açúcar foi de 84%, sendo que nesta última safra a porcentagem média de área colhida sem uso do fogo foi de 72% (CANASAT, 2012).

Nesse sentido o uso de abordagens utilizando diferentes sensores aptos ao mapeamento em diversas escalas torna-se essencial. Atualmente tem-se uma gama considerável de sensores remotos com características espectrais, espaciais e temporais com potencialidades para gerar coberturas multiescalares, porém, com limitações inerentes ao custo de aquisição e características técnicas distintas, onde sensores de baixa resolução espacial (tamanho mínimo de área imageada) possuem alta resolução temporal (tempo de retorno ao mesmo ponto), numa conhecida relação inversamente proporcional do sensoriamento remoto (Figura 4).

Os procedimentos de Agricultura de Precisão já não podem mais restringir-se as escalas de mapeamento no nível propriedade, prescindindo sistemas de mapeamento de larga escala de uso integrado, ampliando o termo *precisão* em termos de otimização de processos, independente de sua dimensão, seja para: (i) *input* de dados climatológicos mesoregionais, vitais para previsão de safra; (ii) planejamento logístico de colheita considerando variação sazonal de variedades e uso cooperado de máquinas, já uma realidade ou (iii) colheita e escoamento produção, corroborando a necessidade de mapeamentos multiescala (Figura 4).

A superação de limites passa, portanto, pela excelência em atividades coadunadas em pesquisa-desenvolvimento-inovação em geotecnologias. No caso do mapeamento multiescala da cana-de-açúcar tem-se exemplos recentes desse encadeamento, especificamente quanto ao aprimoramento de algoritmos de classificação de imagens computacionalmente mais eficientes aplicados ao sensor SPOT-Vegetation (resolução espacial de 1 km), com resultados satisfatórios para grandes áreas (VICENTE et al., 2012a).

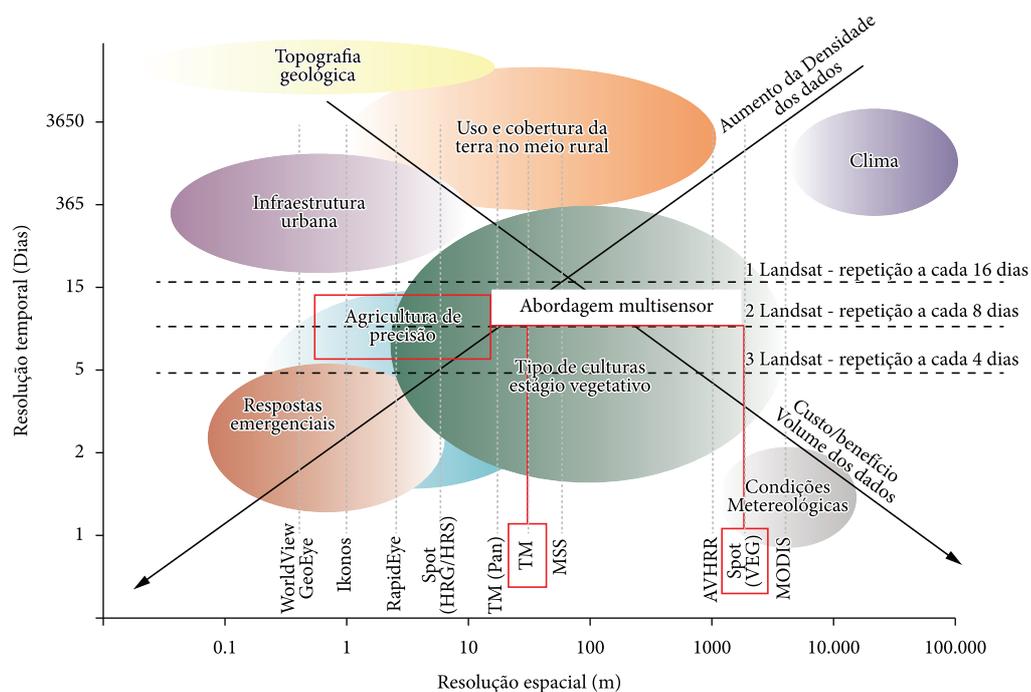


Figura 4. Escalas temporal e espacial em sensores remotos e suas diversas utilizações com destaque para a agricultura de precisão e sua relação com trabalhos multisensor. (Fonte: Adaptado de HEMPHILL, 2001).

5. Dinâmica do uso e cobertura das terras em áreas com cana-de-açúcar no estado de São Paulo

Na agricultura de precisão, informações detalhadas da área a ser manejada auxiliam na aplicação precisa de insumos e afins, de acordo com as características particulares e necessidades da cultura. Juntamente com informações de solo e manejos anteriores, o conhecimento do histórico de uso auxilia na identificação de zonas homogêneas e, assim, no gerenciamento agrícola. Informações históricas permitem ainda a compreensão das intensidades de uso da área e o possível reflexo na produtividade agrícola, exercendo um importante papel na aplicação das técnicas de agricultura de precisão.

Nos estudos para avaliação da paisagem, o uso de séries temporais de dados de sensoriamento remoto tornou-se fundamental no resgate do histórico da área, com produtos selecionados em função da necessidade de escala temporal e espacial do foco de análise. A partir das análises de uso e cobertura do solo ao longo de um período, é possível reconstruir a trajetória de uma determinada região e a dinâmica entre as classes de uso.

As atividades agrícolas têm importante papel na transformação ou dinâmica das paisagens, processo associado à variação histórica e temporal dos elementos de uma determinada região (FORMAN, 1995). No Estado de São Paulo, a expansão da cultura vem determinando novas configurações regionais das explorações agropecuárias, principalmente na região oeste do Estado (CAMARGO et al., 2008). Esses fatores ressaltam a importância de entendimento da dinâmica de uso e cobertura da terra e como a expansão da cana-de-açúcar reflete nas demais classes de uso, informações que seriam produtos auxiliares na identificação da variabilidade da área e na decisão pelo manejo adequado.

Trabalhando com imagens de satélite Landsat, adquiridas ao longo do tempo, associadas com dados auxiliares, as séries temporais de índices de vegetação EVI2/MODIS, Adami et al. (2013) mapearam o uso e cobertura da terra anterior

à cana-de-açúcar plantada entre 2005 e 2011, visando analisar a expansão dessa atividade no estado de São Paulo. Os polígonos referentes à expansão da cana de 2005 a 2011 foram interpretados visualmente com base na imagem de 2003. Nessa região, a expansão a atividade ocorreu principalmente sobre pastagem (63%) e agricultura (33%), com o restante da expansão sobre as classes de citrus, vegetação arbórea e reflorestamento. De acordo com os autores, entre 2005 e 2011, a cana-de-açúcar estava principalmente concentrada na região centro-norte e oeste do Estado.

Na região nordeste do estado de São Paulo, importante pólo econômico, Quartaroli et al. (2006) realizaram o levantamento do uso e cobertura das terras de 125 municípios para os anos de 1988 e 2003, tendo como principais objetivos identificar, espacializar e quantificar as principais atividades agrossilvopastoris desenvolvidas na região e analisar as dinâmicas espaciais e temporais das principais culturas. Empregando imagens Landsat para os anos de 1988 e 2003 respectivamente, foi realizada uma classificação automática da imagem mais recente, que serviu de base para a edição digital da outra data. A partir dos mapas de uso das duas datas, foram quantificadas as alterações no período, considerando 14 classes de uso. Essa análise da dinâmica identificou áreas de retração, expansão e permanência das classes, incluindo as conversões entre elas. Em relação à área, a cana dobrou a ocupação das terras, tornando-se a classe dominante em 2003, abrangendo 44% da área de estudo, seguida da pastagem, com 15%. Nesse período de 1988 a 2003 (Figura 5), a atividade de cana expandiu em 25%, principalmente sobre áreas de culturas anuais e pastagens, com permanência em 19% da área, e a pequena área de retração, menor que 2%, relacionada às áreas de fruticultura e pastagem.

Posteriormente, um desdobramento deste trabalho de Quartaroli et al. (2006) buscou analisar a dinâmica florestal e identificar padrões que resultaram na regeneração nessa região nordeste do estado de São Paulo. Empregando os mapeamentos de 1988 e 2003 e dados secundários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Araujo et al. (2011) identificaram municípios

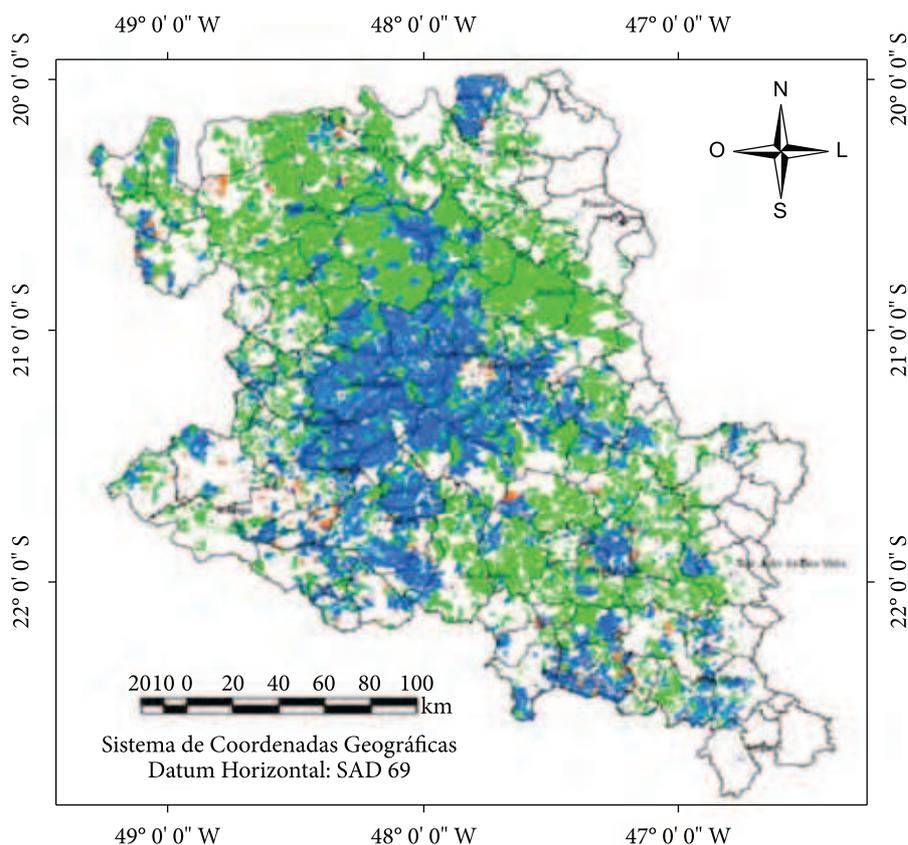


Figura 5. Área de expansão (em verde), permanência (em azul) e retração (em vermelho) da cultura da cana no período de 1988 e 2003 no nordeste do estado de São Paulo. Adaptado de Quartaroli et al. (2006).

com maior e menor área de regeneração florestal e relacionaram com dados agro-socio-econômicos. Nas análises estatísticas, as variáveis referentes à cana-de-açúcar - área de uso e produção - foram identificadas como de maior correlação com a taxa de regeneração florestal. A análise geoestatística e os mapas de krigagem gerados (Figura 6) também direcionaram para a relação espacial positiva entre regiões com ocorrência de regeneração e cana-de-açúcar. Nessa região estudada, a maior ocorrência das atividades vinculadas à cana-de-açúcar poderia refletir no processo de regeneração em determinadas áreas, devendo-se considerar na análise, por exemplo, as relações entre os diversos usos da terra com outros fatores socioeconômicos que favoreceriam o abandono da terra para a recuperação florestal, especialmente relacionados a incentivos financeiros e certificações ambientais.

O trabalho de Vicente et al (2012a) que teve como objetivo avaliar o mapeamento de área de cana-de-açúcar por meio de série temporal, de seis anos de dados do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), oriundos do sensor Vegetation, a bordo do satélite "systeme pour l'observation de la Terre" (SPOT), apresentou desdobramentos por Vicente et al. (2012b) que utilizou escala de tempo mais abrangente, da ordem de 15 anos (1990-2005), escala espacial mais detalhada e inserção de um maior número de alvos, através do uso do sensor Landsat TM (*Thematic Mapper*) 5 (30m de resolução espacial). Os autores realizaram o mapeamento das mudanças de uso e cobertura da terra nos municípios que apresentaram maior índice de expansão (>100%) no cultivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo no período citado, bem como quais tipos de uso da terra (e.g. pastagem,

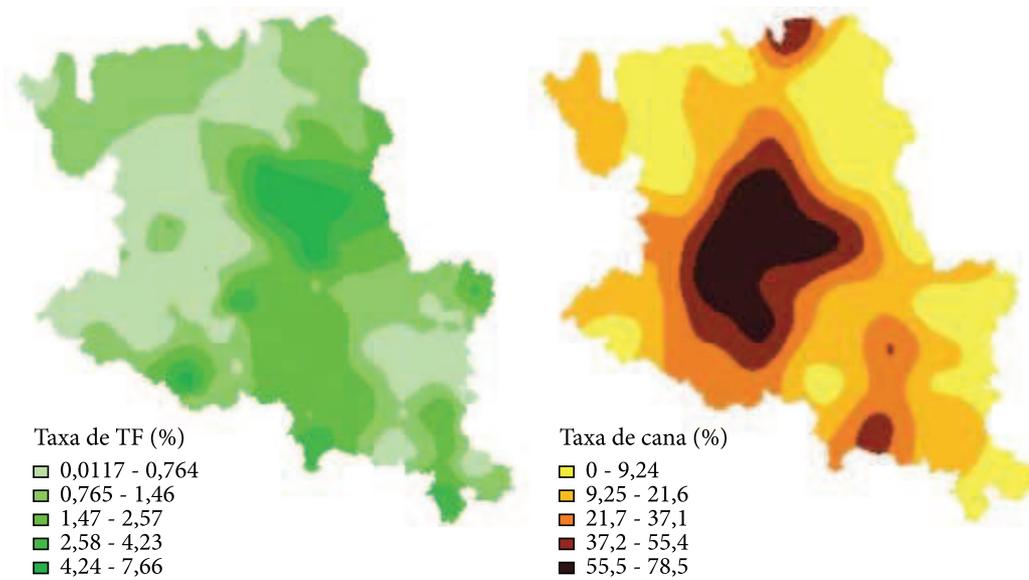


Figura 6. Mapas derivados da krigagem referente à probabilidade de distribuição de regeneração florestal (TF) e cana-de-açúcar. Fonte: Araujo et al. (2011).

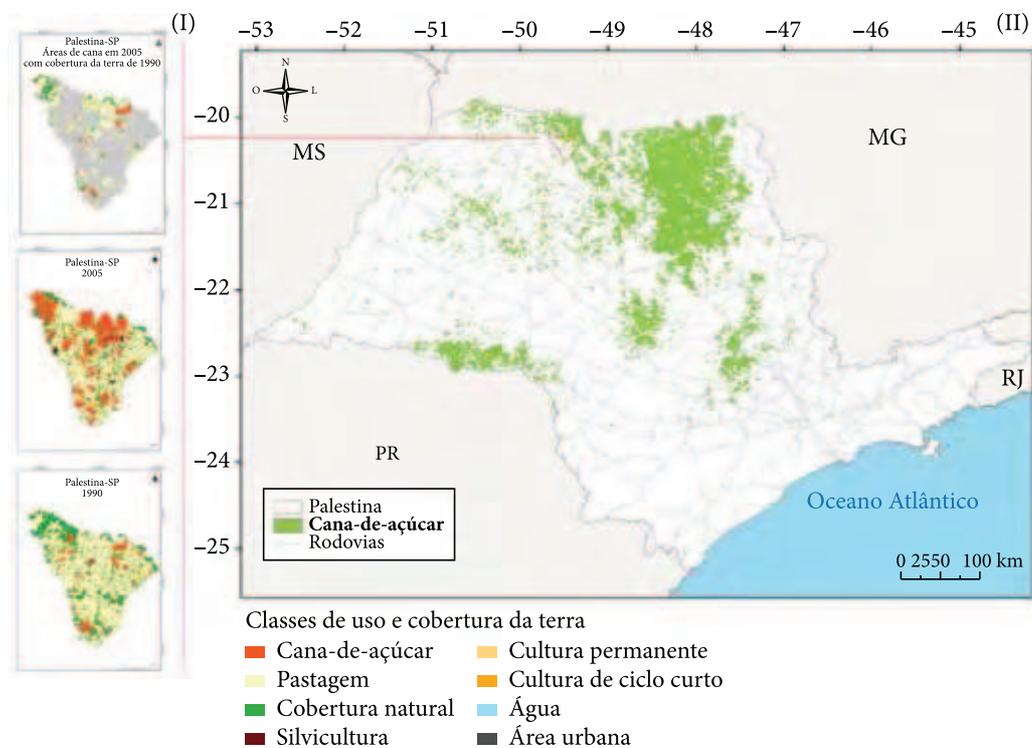


Figura 7. Exemplo de mapeamento de uso e cobertura da terra em município com aumento significativo de área plantada de cana entre 1990 e 2005 utilizando sensor Landsat TM5 (I). Mapeamento de áreas de cana no Estado de São Paulo utilizando o sensor SPOT-Spot Vegetation (II). Adaptado de Vicente et al. (2012a, b).

cultura permanente) apresentaram redução em relação a cana. Como resultado, foram mapeados os municípios com o aumento significativo de área plantada de cana entre 1990 e 2005 (Figura 7).

Dessa forma, através do uso de geotecnologias envolvendo imagens de satélite e mapeamentos de uso e cobertura das terras, é possível obter respostas cada vez mais rápidas e precisas frente aos novos desafios de expansão e tecnificação do setor canavieiro em suas diferentes escalas, bem como servir de aporte fundamental para a Agricultura de Precisão.

6. A agricultura de precisão e as usinas de cana-de-açúcar no estado de São Paulo

A agricultura de precisão desempenha papel fundamental no aprimoramento da produtividade das usinas e destilarias sucroalcooleiras brasileiras, com vistas a atender o aumento da demanda

interna e externa de etanol e açúcar, de forma que o país possa expandir a participação no mercado internacional sem deixar de suprir o consumo nacional, e ao mesmo tempo, a minimizar os impactos ambientais que podem advir da expansão da produção.

Atualmente, para cada tonelada de cana processada uma usina produz cerca de 71 quilos de açúcar e 42 litros de etanol (LEITE, 2009). Considerando-se cenários de consumo futuro, a geração brasileira de etanol deveria saltar de cerca de 18 bilhões de litros por ano em 2012 para 205 bilhões de litros por ano em 2025 para substituir 10% da gasolina consumida mundialmente (LEITE, 2009). Como decorrência da perspectiva atual e futura de aquecimento do mercado, já são observados projetos para instalação de novas plantas, bem como uma elevação da escala de moagem das usinas e destilarias (BELIK et al., 2013), delineando a necessidade de aumento no fornecimento de matéria-prima.

Entre as 401 usinas e destilarias em operação no país, 42% por cento se concentram no estado

Tabela 1. Usinas em operação em 2012 e área plantada (ha) com cana-de-açúcar nos estados Brasileiros.

UF	Nr. de usinas	Cana plantada (ha)	UF	Nr. de usinas	Cana plantada (ha)
Acre	01	964	Alagoas	24	439.250
Amazonas	01	4	Bahia	06	87.762
Rondônia	01	1.225	Mato Grosso	11	153.654
Roraima	0	436	Mato Grosso do Sul	21	146.191
Amapá	0	68	Goiás	34	224.000
Pará	01	8.579	Distrito Federal	0	402
Tocantins	01	5.421	São Paulo	172	2.986.433
Maranhão	04	32.267	Rio de Janeiro	04	160.959
Piauí	01	12.017	Espírito Santo	05	53.606
Ceará	02	40.888	Minas Gerais	43	382.649
R. G. do Norte	04	54.652	Paraná	30	365.674
Pernambuco	20	402.894	Santa Catarina	0	15.650
Paraíba	09	117934	Rio Grande do Sul	01	32.841
Sergipe	05	30.254			

Fonte: MAPA (BRASIL, 2012b); IBGE (INSTITUTO..., 2012).

de São Paulo (Tabela 1), coincidindo com a grande extensão de área plantada com cana.

Esta relação entre o número de usinas e área de cana plantada é explicada pela estreita dependência espacial existente neste setor. Diferentemente de outros mercados, no setor sucroalcooleiro as fases agrícola e industrial da produção têm um limite de distância máxima em virtude de fatores logísticos. Os gastos com corte, carregamento e transporte correspondem a 30% do custo global das usinas (CAIXETA FILHO et al., 1998), e por ser um produto de baixo valor agregado e não ter carga de retorno, a distância das frentes de colheita tem importante impacto na otimização dos custos nesta etapa. Deve ser mantido o fluxo constante e uniforme de matéria-prima alimentando as moendas, pois tanto a parada por falta de cana, quanto o funcionamento subutilizado por quantidade de cana insuficiente, resultam em elevação de custos e prejuízos (IANNONI; MORABITO, 2002). Com base

nestes parâmetros, atualmente é adotado pelas usinas um raio médio de 25 a 30 km para garantir o transporte competitivo (CHIARINELLI, 2008).

Desta forma, regiões que apresentam condições edafoclimáticas favoráveis, sofrem grande pressão, como pode ser observado nas regiões canaveiras tradicionais do estado de São Paulo. A competição por matéria-prima é mais acentuada em regiões como Ribeirão Preto, Catanduva, Assis e Jaú (Figura 8).

É evidente a necessidade da utilização de técnicas de agricultura de precisão para elevar a produtividade média para além dos 80 t ha⁻¹ nas áreas próximas às plantas industriais já instaladas, garantindo o constante e uniforme abastecimento do processo de beneficiamento.

Há também a tendência de instalação de usinas em regiões com ambientes de produção menos propícias, como Araçatuba e Presidente Prudente. Nestas áreas, a atuação da agricultura de precisão

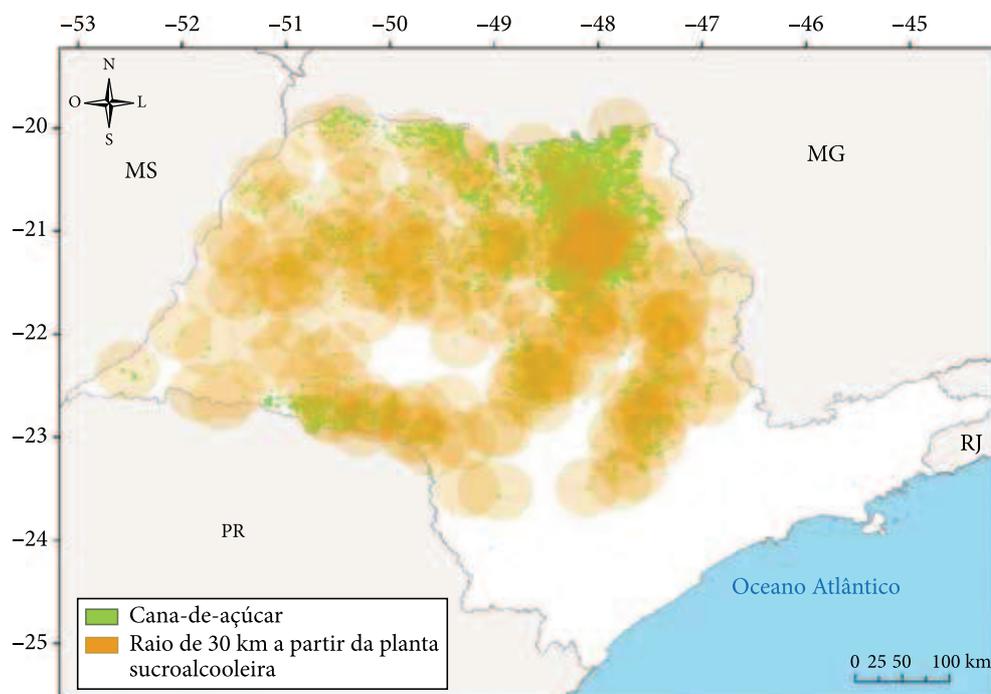


Figura 8. Localização das usinas e destilarias sucroalcooleiras no estado de São Paulo. Os círculos representam as áreas de influência de cada planta, sendo que a sobreposição indica os níveis de competição sobre a região. Elaboração a partir de Belik et al. (2013) e Vicente et al. (2012).

será ainda mais essencial, devido, principalmente às restrições relativas às condições do solo.

7. Considerações finais

Os estudos demonstram que o pacote tecnológico da agricultura de precisão é abrangente e compatível quando aplicado à cana-de-açúcar, principalmente porque já despontam no Brasil produtos decorrentes deste pacote envolvendo principalmente as geotecnologias aplicadas em todo o setor produtivo.

Podemos inferir que a produção da cana-de-açúcar se encaixa adequadamente dentro dos conceitos de agricultura de precisão, contudo, devido as suas características agrícolas de manejo, produção verticalizada e integralizada, a adoção da tecnologia vai muito além do que temos observado na produção de cereais, que está fundamentada principalmente no manejo agrônomo. O potencial de adoção da ferramenta de agricultura de precisão além de contribuir com a melhoria da qualidade e redução de custo da produção apresenta oportunidade também de ser utilizada como uma ferramenta de otimização de manejo, minimização de custos operacionais, e adequação ambiental.

Portanto, a incorporação da agricultura de precisão na cultura da cana-de-açúcar se traduz numa nova filosofia de trabalho que representa principalmente a otimização da produção agrícola gerenciada de acordo com a variabilidade espacial para potencializar a competitividade e a sustentabilidade da cadeia produtiva.

Referências

ADAMI, M.; MENDES, F. S.; AGUIAR, D. A.; SALGADO, M. P. G.; RUDORFF, B. F. T. Mudança do uso da terra devido à expansão da cana-de-açúcar em São Paulo de 2005 a 2011. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. *Anais...* São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013. p. 482-489.

ANCHIETA, L. **Amostragem de solo em agricultura de precisão**: particularidades e recomendações. 2012. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-16082012-105301/>>. Acesso em: 28 jun. 2013.

ARAÚJO, L. S.; GREGO, C. R.; BOLFE, E. L.; OSHIRO, O. T. **A dinâmica florestal no pólo agropecuário do nordeste paulista**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2011. 21 p. (Documentos, 86).

BELIK, W.; FIGUEIRA, S. R. F.; PEROSA, B. B.; KOGA-VICENTE, A. Competition for Sugarcane in the State of São Paulo: an exploratory analysis using maps. In: INTERNATIONAL CONSORTIUM ON APPLIED BIOECONOMY RESEARCH, 2013.

BOLONHEZI, D.; MUTTON, M. A.; MARTINS, A. L. M. Sistemas conservacionistas de manejo de solo para amendoim cultivado em sucessão à cana crua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 939-947, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000700005>

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Assessoria de Gestão Estratégica**: projeções do Agronegócio Brasil 2011/12 a 2021/22. Brasília, 2012a. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/gestao/projecao/>. Acesso em: jun. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Usinas e destilarias cadastradas**: agroenergia. Brasília, 2012b. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 06 maio 2013.

BUSATO, J. G.; CANELLAS, L. P.; CARLOS, A.; VELLOSO, X. Fósforo num Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. I - Fracionamento Sequencial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 935-944, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000600011>

CAIXETA FILHO, J. V.; SILVA, N. D. V.; GAMEIRO, A. H.; LOPES, R. L.; GALVANI, P. R. C.; MARTIGNON, L. M.; MARQUES, R.W.C. Competitividade no agrobusiness brasileiro: a questão do transporte em um contexto logístico. In: FARINA, E. M. E. Q.; ZYLBERSTAJN, D. (Coord.). **Competitividade no agribusiness brasileiro**. São Paulo: PENSA: FIA: FEA: USP, 1998.

CAMARGO, A. M. M. P.; CASER, D. V.; CAMARGO, F. P.; OLIVETTE, M. P. A.; SACHS, R. C. C.; TORQUETO, S. A. Dinâmica e tendência da expansão da cana-de-açúcar sobre as demais atividades agropecuárias, Estado de São Paulo, 2001-2006. **Informações Econômicas**, v. 38, n. 3, 2008.

CANASAT. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat.html>>. Acesso em 15 jul. 2012.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhão e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000500018>

CANTARELLA, H. Aplicação de nitrogênio em sistema de cana-crúa. **Revista STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, v. 16, n. 1, p. 21-22, 1998.

- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; CONTIN, T. L. M.; DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R.; COIMBRA, R. B.; QUAGIO, J. A. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 4, p. 397-401, 2008.
- CERRI, D. G. P.; MAGALHÃES, P. S. G. Correlation of physical and chemical attributes of soil with sugarcane yield. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 4, p. 613-620, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000400018>
- CHIARINELLI, M. D. Logística de transporte da cana-de-açúcar: desafios para um processo *just in time*. **Revista Opiniões**, 2008.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; CARVALHO, S. J. P.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; NICOLAI, M.; HIDALGO, E.; SILVA, J. E. Conservation of natural resources in Brazilian agriculture: implications on weed biology and management. **Crop Protection**, v. 26, n. 3, p. 383-389, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2005.06.013>
- COX, G.; HARRIS, H.; PAX, R. Development and testing of a prototype yield mapping system. In: PROCEEDINGS OF AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 1997. **Proceedings...** Brisbane: Australian Society of Sugar Cane Technologists, 1997. p. 38-43.
- DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, C. A. M.; VIEIRA, S. R.; FRACASSO, J. V.; GREGO, C. R. Uso da geoestatística na avaliação da distribuição de Mahanarva fimbriolata em cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 66, n. 3, p. 449-455, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000300011>
- DÖBEREINER, J.; DAY, J. M.; DART, P. J. Nitrogenase activity in the rhizosphere of sugar cane and some other tropical grasses. **Plant and Soil**, v. 37, n. 1, p. 191-196, 1972. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01578494>
- FERREIRA, E. C.; FIGUEIREDO, Z. N.; GREGO, C. R.; LONG, R.; GOMES, J. T. Variabilidade espacial da distribuição da cobertura vegetal após colheita mecanizada da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 3., Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, 2013. 6 p. CD-ROM.
- FORMAN, R. T. T. Some general principles of landscape and regional ecology. **Landscape Ecology**, Amsterdam, v. 10, n. 3, p. 133-142, 1995. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00133027>
- FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2763-2770, 2008.
- FRENEY, J. R.; DENMED, O. T.; WOOD, A. W.; SAFFIGNA, P. G. Ammonia loss following urea addition to sugar trash blankets. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 16., Journsville, 1994. **Proceedings...** Journsville: Watson Ferguson, 1994. p. 114-121.
- GARCIA, J. F. G.; GRISOTO, E.; BOTELHO, P. S. M.; PARRA, J. R. P.; APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B. Feeding site of the spittlebug Mahanarva imbricolata (STÄL) (Hemiptera: Cercopidae) on sugarcane. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 5, p. 555-557, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162007000500014>
- GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; PENATTI, C. P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1347-1354, 2001.
- GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R.; XAVIER, M. A. Spatial variability of some biometric attributes of sugarcane plants (variety IACSP93-3046) and its relation to physical and chemical soil attributes. **Bragantia**, v. 69, p. 107-119, 2010. Suplemento. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000500012>
- HEMPHILL, J. J. **On the value of coordinating landsat operations**. 2001. Tese (Mestrado)-University of California Santa Barbara, Santa Barbara, 2001. Disponível em: <<http://www.geog.ucsb.edu/~jeff/projects/thesis/>>. Acesso em: 13 jun. 2013.
- IDEAONLINE. **Cana-Açúcar-Bioenergia-Etanol**. Disponível em: <<http://www.ideaonline.com.br/artigos.html>>. Acesso em: abr. 2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. **Pesquisa Agropecuária Municipal**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 9 jun. 2012.
- IANNONI, A. P.; MORABITO, R. Análise do sistema logístico de recepção de cana-de-açúcar: um estudo de caso utilizando simulação discreta. **Gestão e Produção**, v. 9, n. 2, p. 107-128, 2002.
- KORNDÖRFER, G. H.; OLIVEIRA, L. A. O potássio na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: ESALQ-USP, 2005. p. 469-490.
- LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; SCARPARI, M. S.; GARCIA, J. C.; BIDOIA, M. A. P.; SILVA, D. N.; MENDONÇA, J. R.; KANTHACK, R. A. D.; CAMPOS, M. F.; BRANCALIAO, S. R.; PETRI, R. H.; MIGUEL, P. E. M. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB) oriundas de gemas individualizadas**. Campinas: IAC, 2012. (Documentos IAC, 109).
- LEITE, R. C. C. (Coord.). **Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil**. Brasília: Centro de Gestão e Assuntos Estratégicos, 2009.
- MAGALHÃES, P. S. G.; CERRI, D. G. P. Yield monitoring of sugar cane. **Biosystems Engineering**, v. 96, p. 1-6, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.10.002>
- MARTINS, D.; VELINI, E. D.; MARTINS, C. C.; SOUZA, L. S. Emergência em campo de dicotiledôneas infestantes em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 17, n. 1, p. 151-161, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83581999000100014>
- MOLIN, J. P. **Circuito Brasil de agricultura de precisão**. Ponta Grossa: Etapa Ponta Grossa, 2000. 34 p.
- MOLIN, J. P.; MENEGATTI, L. A. A. Field-testing of a sugar cane yield monitor in Brazil. In: ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2004, Ottawa. **Proceedings...** ASAE, 2004. p. 12.

- MONQUERO, P. A.; AMARAL, L. R.; BINHA, D. P.; SILVA, P. V.; SILVA, A. C. Mapas de infestação de plantas daninhas em diferentes Sistemas de colheita da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 47-55, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582008000100005>
- ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO, E. J. Distribuição e conservação dos solos com cana-de-açúcar no Brasil. In: ORLANDO FILHO, J. (Ed.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA: Planalsucar, 1983. p. 41-73. v. 2.
- PAVLÚ, F. A. **Plano de amostragem e distribuição espacial visando o controle localizado de Sphenophorus Levis na cultura da cana-de-açúcar**. 2012. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11148/tde-24102012-145217/>>. Acesso em: 28 jun. 2013.
- PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2010. p. 137-191.
- PRICE, R. R.; LARSEN, J.; PETERS, A. Development of an Optical Yield Monitor for Sugar Cane Harvesting. In: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2007. **Proceedings...** 2007. p. 27.
- QUARTAROLI, C. F.; CRISCUOLO, C.; HOTT, M. C.; GUIMARAES, M. **Alterações no uso e cobertura das terras no nordeste do Estado de São Paulo no período de 1988 a 2003**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2006. (Documentos Embrapa).
- RESENDE, A. S.; SANTOS, A.; XAVIER, R. P.; COELHO, C. H.; GONDIM, A.; OLIVEIRA, O. C.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 937-941, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000600003>
- RODRIGUES JUNIOR, F. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; FRANCO, H. C. J.; BEAUCLAIR, E. G. F.; CERRI, D. G. P. Correlation between chemical soil attributes and sugarcane quality parameters according to soil texture zones. **Soil Science**, v. 178, p. 147-156, 2013a. <http://dx.doi.org/10.1097/SS.0b013e31829132c5>
- RODRIGUES JUNIOR, F. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; FRANCO, H. C. J. Soil attributes and leaf nitrogen estimating sugar cane quality parameters: brix, pol and fibre. **Precision Agriculture**, v. 14, n. 3, p. 270-289, 2013b.
- RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**, v. 2, p. 1057-1076, 2010. <http://dx.doi.org/10.3390/rs2041057>
- SÃO PAULO (Estado). **Secretaria do meio ambiente**. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/>>. Acesso em: jun. 2013.
- SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Gráfica Prol, 2006. 415 p.
- SOUZA, Z. M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 3, p. 271-278, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005000300011>
- TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; VITTI, A. C.; GAVA, G. J. C.; BENDASSOLLI, J. A. Perdas do nitrogênio da ureia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 193-201, 2002.
- URQUIAGA, S.; CRUZ, K. H. S.; BODDEY, R. M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: Nitrogen-15 and nitrogen balance estimates. **Soil Science Society America Journal**, v. 56, p. 105-114, 1992. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600010017x>
- URQUIAGA, S.; RESENDE, A. S.; QUESADA, D. M.; SALLES, L.; GONDIM, A.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Efeito das aplicações de vinhaça, adubo nitrogenado e da queima no rendimento de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.
- VICENTE, L. E.; GOMES, D.; VICTORIA, D. C.; GARCON, E. A. M.; BOLFE, E. L.; ANDRADE, R. G.; SILVA, G. B. S. Séries temporais de NDVI do sensor SPOT Vegetation e algoritmo SAM aplicados ao mapeamento de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 1, p. 1337-1345, 2012a. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000900019>
- VICENTE, L. E.; GOMES, D.; VICTORIA, D. C.; KOGA-VICENTE, A. Monitoring of agricultural land use in Sao Paulo State Brazil Using Geotechnology Approach. In: INTERNATIONAL CONSORTIUM ON APPLIED BIOECONOMY RESEARCH CONFERENCE, 16.; EUROPEAN ASSOCIATION OF AGRICULTURAL ECONOMISTS SEMINAR, 128., 2012, Ravello, Itália. **Anais...** 2012b.
- VIEIRA, S. R.; XAVIER, M. A.; GREGO, C. R. Aplicações de geoestatística em pesquisas com cana-de-açúcar. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana de açúcar**. Ribeirão Preto: Instituto Agrônomo, 2008, p. 839-852.
- VITTI, A. C. **Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia: Manejo e efeito na produtividade**. 2003. 114 f. Tese (Doutorado)-Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; FRANCO, H. C. J.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 491-498, 2007.
- WHEELER, P. N.; GODWIN, R. J.; WATT, C. D.; BLACKMORE, B. S. Trailer based yield mapping. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1997. **Proceedings...** Warwick, 1997. p. 9.