

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
CAMPUS PIRACICABA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS

0110601 - Estágio Profissionalizante em Engenharia Agrônômica

**Atividades desenvolvidas no setor agrícola do Grupo Noble
Bioenergia, unidade de Catanduva, com ênfase em
Agricultura de Precisão**

Aluno

Leandro Taubinger

Nº USP: 6460940

Professor Orientador

Prof. Dr. José Paulo Molin

Supervisor

Eng. Agrônomo Moisés Matos da Costa

Piracicaba, dezembro de 2012

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

A Deus, nosso Pai, a quem pertence tudo que sou e tenho;

Aos meus pais Adolf e Helga e ao meu irmão Maurício, pelos ensinamentos, dedicação, apoio, amizade e compreensão nas horas mais difíceis, e principalmente pela oportunidade de estudar;

Ao Prof. Dr. José Paulo Molin, pelo apoio, paciência e orientação na realização deste trabalho;

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, e ao Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão (GMAP), pela experiência adquirida, pelo apoio, companheirismo e pelas oportunidades proporcionadas;

Ao Engenheiro Agrônomo Moisés Matos da Cosa, pela amizade, pela confiança depositada e pela coordenação das atividades realizadas durante o período do estágio profissionalizante;

Ao Grupo Noble Bioenergia e a todos os seus integrantes, pela oportunidade e pelo auxílio em todos os trabalhos realizados;

À Republica Copacabana, pela amizade, apoio, e principalmente pela vivência da “força e a tradição da amizade Esalqueana”;

Aos Engenheiros Agrônomos Lucas Pichirilli Vieira, Marcos Agostinho Petean Gomes e Leandro Henrique Guimarães, pelo companheirismo, apoio e acolhimento durante o decorrer do estágio profissionalizante;

A todos os amigos e familiares que sempre me apoiaram;

A todos os demais que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho;

Muito Obrigado.

SUMÁRIO

RESUMO	4
1. INTRODUÇÃO	6
2. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA CONCEDENTE	8
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
3.1 Cana-de-açúcar	8
3.2 Agricultura de Precisão	11
4. ATIVIDADES REALIZADAS	13
4.1 Acompanhamento das atividades agrícolas realizadas na empresa	13
4.1.1 Corte, carregamento, e transporte (CCT) e Colheita, transbordo e transporte (CTT)	13
4.1.2 Tratos Culturais	23
4.1.3 Preparo e Plantio	24
4.1.4 Topografia	26
4.1.5 Geoprocessamento	27
4.1.6 Agricultura de Precisão	28
4.2 Trabalhos de Pesquisa desenvolvidos	32
4.2.1 Estudos com NDVI.....	32
4.2.2 Comparativo entre métodos de interpolação de dados	39
4.2.3 Avaliação da vazão de equipamentos	44
4.3 Outras atividades desenvolvidas	46
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO SETOR AGRÍCOLA DO GRUPO NOBLE BIOENERGIA, UNIDADE DE CATANDUVA, COM ÊNFASE EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

RESUMO

O estágio profissionalizante teve como objetivo acompanhar as atividades agrícolas realizadas na área agrícola da empresa Noble Bioenergia, unidade Catanduva, assim como desenvolver atividades de pesquisa na área de agricultura de precisão, tanto para o aprendizado próprio como para possível uso posterior por parte da empresa.

No acompanhamento às atividades agrícolas da empresa, foram acompanhadas as áreas de Corte, carregamento, e transporte (CCT) e Colheita, transbordo e transporte (CTT), tratos culturais, preparo e plantio, topografia, geoprocessamento, e agricultura de precisão.

Na parte das atividades de pesquisa, o primeiro trabalho foi com imagens de satélite, no qual objetivou-se analisar a possibilidade de uso dos valores de NDVI calculados a partir dessas imagens para detectar a variabilidade na produtividade das áreas analisadas e também a possibilidade de realizar estimativas de produtividade nessas áreas. O uso de imagens de satélite, mesmo sendo necessários mais estudos, se mostrou uma ferramenta útil na detecção da variabilidade da produtividade e biomassa, sendo que com o desenvolvimento e aprimoramento dessa técnica poderá se pensar até em realizar a estimativa de safra com essas imagens.

O segundo trabalho, teve como objetivo analisar o comportamento de dois métodos interpoladores disponíveis no software que a empresa utiliza, sendo eles o inverso da distância e a krigagem. Mesmo que encontrando uma pequena diferença de um método de interpolação para o outro, precisam ser realizados mais estudos com um software que permita obter e informar os dados de modelo da função, alcance, patamar e efeito pepita, para se ter um maior controle e maior confiabilidade para os resultados do método da krigagem.

No terceiro trabalho objetivou-se avaliar o estado da aplicação de adubos líquidos e de herbicidas, quanto à dosagem aplicada e a recomendada, e quanto a distribuição transversal. De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que ainda

precisam ser realizadas melhorias na aplicação de adubo líquido. Quanto aos pulverizadores de herbicida, não foi verificado nenhum problema quanto a homogeneidade e variação quanto à dosagem recomendada.

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é atualmente a cultura mais importante de clima tropical destinada à produção energética, hoje na forma de biomassa combustível (etanol) sendo o Brasil o país com as melhores condições de produzir tal fonte, de forma renovável, vindo a diminuir a dependência de fontes fósseis (SEGATO et al., 2006)

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, seguido por Índia, China e Tailândia, sendo responsável por 42 % da produção mundial. A cultura da cana-de-açúcar permitiu uma produção nacional de etanol de 25,37 bilhões de litros de álcool e 28,4 milhões de toneladas de açúcar na safra 2010/11. A área dedicada a esse cultivo abrange 9,4 milhões de hectares, 1,7% da área agriculturável e 18,3% da área utilizada para culturas anuais (UNICA, 2010).

Segundo HIGGINS (2003), a eficiência na produção de açúcar através do processamento da cana-de-açúcar necessita da integração entre produção, colheita, transporte, industrialização e comercialização, mostrando que a cadeia completa do setor deve receber grande atenção e desenvolvimentos tecnológicos e científicos. O sistema de produção brasileiro é baseado na aplicação de modernas tecnologias, gerando custos reduzidos para a produção da cultura. Uma das práticas cada vez mais utilizada na produção de cana-de-açúcar no Brasil é a utilização das técnicas de Agricultura de Precisão (AP), que auxilia as operações mecanizadas possibilitando maior rendimento e diminuição de custos da operação.

Molin (2001) aponta que a AP é, acima de tudo um sistema de gerenciamento da produção agrícola, contando com procedimentos e equipamentos focados na otimização das lavouras e sistemas produtivos, tendo como elemento principal o manejo da variabilidade espacial da produção e dos fatores a ela relacionados. Sendo assim, práticas de AP envolvem mecanismos que aumentam a chance de se realizar as adequadas estratégias de manejo no local e no momento correto (BRAMLEY, 2009), aumentando o potencial de resposta da cultura e o retorno econômico (PIRES et al., 2004), além da redução dos seus impactos ambientais decorrentes das atividades agrícolas (MOLIN, 2009).

Visando a um aproveitamento melhor dos recursos agrícolas, muitos trabalhos sobre manejo localizado de culturas estão sendo desenvolvidos, especialmente em

relação à aplicação localizada de nutrientes no solo e ao controle de tráfego nas operações mecanizadas.

Segundo BERNER (2007), as áreas plantadas com cana-de-açúcar, apesar de parecerem visualmente homogêneas, são bastante heterogêneas em suas características de solo e nutrientes, com grandes variações devido a manchas de solo, oriundas principalmente de diferenças de textura e estrutura, teor de matéria orgânica, entre outros nutrientes.

O controle de tráfego se destaca na diminuição da compactação do solo e redução do inadvertido tráfego sobre as fileiras de cana, responsável por significativa parcela de redução da produtividade dos canaviais. A sua viabilidade se dá com o uso de piloto automático nos veículos, especialmente tratores e colhedoras e por meio dele, obtém-se acurácia da ordem de 2 a 3 cm no posicionamento da máquina em campo com repetibilidade ano após ano.

Entre as ferramentas desenvolvidas ou associadas aos objetivos da AP estão: GNSS, Sistemas de informação geográfica, tecnologia de aplicação à taxa variável, monitoramento das áreas, sensoriamento remoto, monitores de colheita, amostradores de solo, balizadores de aplicação, sensores de matéria orgânica, sensores de plantas daninhas, sensores de umidade, de pH, sensores de compactação (penetrômetros), sensores de condutividade elétrica do solo, sensores de doenças, sensores de proteína de grãos, clorofilômetros, pulverizadores de precisão e fotografias aéreas.

Esse estágio profissionalizante foi realizado no Departamento Agrícola da NG Bioenergia – Unidades Catanduva e Potirendaba, mais especificamente na área de tecnologia do setor de planejamento agrícola, iniciando-se em 06 de agosto de 2012 e com termino em 30 de novembro de 2012.

No decorrer dos quatro meses foi possível acompanhar a maioria das atividades agrícolas desenvolvidas na empresa, e também o desenvolvimento de trabalhos de pesquisa, os quais possivelmente poderão ser aplicados no processo produtivo da empresa.

2. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA CONCEDENTE

O estágio profissionalizante foi desenvolvido em convênio com a empresa NG Bioenergia S.A. – Unidade Catanduva, sediada no Município de Catanduva-SP, Rodovia José Fernandes, km 1, CEP 15.800-970, telefone: 17 3531-2000, instituição conveniada à ESALQ.

A NG Bioenergia pertencente ao grupo Noble, que possui quatro Unidades sucroenergéticas no Estado de São Paulo, localizadas nos municípios de Sebastianópolis do Sul, Meridiano, Potirendaba e Catanduva.

A estimativa de produção para as unidade de Catanduva e Potirendaba é de 3,3 e 2,7 milhões de toneladas de cana de açúcar respectivamente, sendo a produtividade média estimada de 86 t.ha⁻¹ em Catanduva e 80 t.ha⁻¹ em Potirendaba.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cana-de-açúcar

A questão do abastecimento energético vem ganhando grande importância em todo o mundo, principalmente com o questionamento da longevidade dos combustíveis fósseis e com a preocupação do Aquecimento Global devido às emissões indiscriminadas de gás carbônico (CO₂) na atmosfera. É imprescindível, portanto, que haja o direcionamento na substituição de fontes não renováveis para fontes alternativas renováveis e limpas na matriz energética mundial. Nesse contexto, a cana-de-açúcar se apresenta como uma forte alternativa renovável de energia.

O Brasil conta com uma área de oito milhões ha de cana-de-açúcar, distribuída em diversas regiões produtoras, como SP, MG, PR, GO, AL, MS, PE entre outras. A expansão de área da cultura continua ocorrendo, destacando-se os estados BA, CE, GO, MS, MG, PE, RJ, RS, RO e TO (CONAB, 2011).

A produtividade média brasileira estimada é de 68 t ha⁻¹ com uma produção total de 571,47 milhões de toneladas de cana, 39,9 milhões de toneladas de açúcar, 9 bilhões de litros de etanol anidro e 13 bilhões de litros de etanol hidratado. Em Pernambuco, sexto produtor nacional, a área cultivada na safra atual (2011/2012) foi de 326,11 mil hectares, com uma produção total de 18,4 milhões de toneladas de cana e produtividade média de 56,5 t há⁻¹ (CONAB, 2012).

A cana-de-açúcar (*Saccharum*), com habilidade única de estocar sacarose nos colmos, é uma planta tropical pertencente à família das gramíneas ou poáceas juntamente com os gêneros *Zea* e *Sorghum*. A cana-de-açúcar moderna, denominada por alguns pesquisadores, é considerada um híbrido complexo entre duas ou mais espécies do gênero *Saccharum* (*S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. barberi*, *S. sinense*, *S. edule* e *S. robustum*) (CHEN; CHOU, 1993). De forma geral, a planta é constituída de um sistema radicular, dos colmos, onde a sacarose é predominantemente estocada, e das folhas dispostas ao redor da cana, nos nódulos intercolmos e também na parte superior da planta onde se localiza a gema apical (palmito) (MANTELATTO, 2005).

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é uma gramínea perene pertencente à família Poaceae que tem como centro de origem o continente asiático, onde é cultivada desde tempos muito remotos. A cana é a principal fonte de obtenção de açúcar e vários tipos de álcool em muitos países no mundo, com destaque para a produção brasileira.

A cultura exige climas quentes e úmidos com temperaturas em torno de 23° C, apesar de possibilidade de cultivo em regiões subtropicais, é no clima tropical que são observados os melhores rendimentos.

A cana é uma planta ereta, rizomatoza, com raízes fasciculadas e forma touceiras. O colmo é cilíndrico e glabro, com coloração variável dependente da variedade, com nós e entrenós muito bem definidos. Os feixes vasculares no colmo são primários e dispersos e fazem do colmo o fruto agrícola da planta de cana. Os entrenós apresentam-se retos ou em zigue-zague além de comprimento e forma muito variáveis, podendo ou não apresentar uma camada cerosa. Já os nós são protuberantes ou constrictos e são neles que se encontram as gemas, as estruturas responsáveis pela reprodução assexuada.

As folhas da cana são simples, estreito-lanceoladas, alternadas e inserem-se nos nós. O limbo apresenta uma nervura central destacada e não há a existência de pedúnculo, sendo a união com o nó realizada apenas pela bainha.

A reprodução sexuada é possível devido à presença de uma inflorescência com formato de panícula e que se desenvolve a partir do último entrenó. A emissão da panícula requer algumas condições ideais para ocorrer, sendo considerada não ideal pela indústria devido à utilização dos açúcares de interesse o que é chamado de isoporização.

O acúmulo de sólidos solúveis no colmo é dependente de algumas variáveis climáticas tais como: estresse hídrico, diminuição da radiação (dias mais curtos do inverno) e queda de temperatura.

A parte morfológica da cana-de-açúcar de interesse comercial é o colmo, que possui sacarose industrializável. A composição química dos colmos é extremamente variável em função de diversos fatores como: variedade da cultura; idade fisiológica, condições climáticas durante o desenvolvimento e maturação, propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo, tipo de cultivo entre outros (PARANHOS, 1987; MARQUES M.O.; MARQUES T.O.; TASSO JÚNIOR, 2001).

A diversificação dos produtos canavieiros com a utilização de subprodutos obtidos a partir do beneficiamento da cana tais como cogeração de energia elétrica; comércio de fermento; bagaço; vinhaça; torta de filtro e fertilizantes orgânicos, somados a possibilidade de integração de novas tecnologias, como o álcool de segunda geração, faz do setor sucroenergético uma oportunidade de investimentos para crescimento e consolidação do mesmo.

Considerando o panorama atual de produtividade dos canaviais na região, diversos fatores podem ser limitantes para o desenvolvimento ideal da cultura, entre esses, a disponibilidade de nutrientes nos solos e a disponibilidade hídrica podem ser apontados como os principais fatores. Os programas de melhoramento genético em cana-de-açúcar vêm ganhando cada vez mais força no Brasil, desenvolvendo cultivares mais produtivas e cada vez mais adaptadas às condições edafoclimáticas das regiões produtoras, exigindo modificações em relação às exigências nutricionais, o que indica a necessidade de revisões nas recomendações de nutrientes e nas doses atualmente empregadas nos programas de adubação (OLIVEIRA, 2011).

Um dos fatores de produção e desenvolvimento tecnológico, de maior importância a ser considerado em uma usina sucroalcooleira, é a escolha das variedades da cana-de-açúcar. Visto que as variedades são responsáveis pelo fornecimento da matéria-prima para a indústria, caracterizada como sendo colmos de cana-de-açúcar em adequado estágio de maturação, onde estão armazenados os carboidratos de reserva (MATSUOKA, 2000).

As variedades são híbridos obtidos por um cuidadoso e criterioso trabalho de seleção e melhoramento genético entre as variedades conhecidas, fazendo com que características desejáveis para regiões e situações específicas sejam agrupadas por cruzamentos (MARTINS, 2004).

Dentre as principais características a serem atendidas nas variedades citam-se as agronômicas especiais de produtividade, rusticidade, resistência às pragas e doenças além de características industriais como alto teor de sacarose e médio teor de fibras (STUPIELLO, 1987)

3.2 Agricultura de Precisão

Com a crescente necessidade de se praticar uma agricultura mais rentável, ambiental e socialmente correta, surge o conceito de se aplicar de forma mais localizada os insumos e as operações, devido à grande variabilidade dos fatores de produção.

Estamos presenciando profundas transformações na agricultura brasileira. A Agricultura de Precisão está aí com um arsenal de novas armas para se fazer agricultura com um grau de detalhamento significativamente maior do que a prática atual, onde se gerencia o sistema de produção pela média (Molin, 2001).

A Agricultura de Precisão (AP) compreende um conjunto de técnicas e metodologias que visam otimizar o manejo de cultivos e a utilização dos insumos agrícolas, proporcionando máxima eficiência econômica. Trata-se de um conjunto de tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento que considere a variabilidade espacial da produção. Existem relatos de que se trabalha com AP desde o início do século XX. Porém, a prática remonta aos anos 1980, quando na Europa foi gerado o primeiro mapa de produtividade e nos EUA fez-se a primeira adubação com doses variadas. Mas o que deu o passo determinante para a sua implementação foi o surgimento de GPS (Sistema de Posicionamento Global por Satélite), em torno de 1990. No Brasil, as atividades ainda muito esparsas datam de 1995 com a importação de equipamentos, especialmente colhedoras equipadas com monitores de produtividade (Molin, 2009).

Um mapa de produtividade, que sem dúvida, é um bom ponto de partida, revela informações que surpreendem pela riqueza do detalhamento. As nossas lavouras apresentam manchas com produtividades extremamente variadas. Aquilo que se pratica

nos dias de hoje é uma simplificação estritamente de ordem prática. A mecanização em larga escala não permite que se dê à lavoura um tratamento especial para cada setor de cada talhão.

Tendo-se em mãos a informação da variabilidade da produtividade da lavoura é necessário ir em busca dos causadores dessa variabilidade.

A AP tem várias formas de abordagem, mas o objetivo é sempre o mesmo – utilizar estratégias para resolver os problemas da desuniformidade das lavouras e se possível tirar proveito dessas desuniformidades. Hoje, especialmente no Brasil, as soluções existentes estão focadas na aplicação de fertilizantes e corretivos em taxa variável. Resumidamente, existem duas estratégias que podem ser adotadas. A mais simples está relacionada ao manejo da fertilidade do solo por meio de gerenciamento da sua correção e adubação com base apenas em amostragem georreferenciada do solo. A outra estratégia, mais ampla e mais elaborada, leva em consideração a produtividade das culturas anteriores para fazer a reposição de nutrientes extraídos. Outra grande diferença entre estratégias pode ser quanto aos objetivos que o usuário deve estabelecer. Uma abordagem pode ser a busca do aumento da produtividade e a outra pode ser a redução do consumo de insumos (Molin, 2009).

Para aplicação dos produtos de forma localizada é indispensável a disponibilidade de um componente eletrônico que governa um motor hidráulico que aciona o dosador e regula a taxa de aplicação. Para o caso de não se ter acesso a esses equipamentos, há a opção da aplicação de corretivos e fertilizantes por zonas de mínima variabilidade previamente demarcadas na lavoura. Nesse caso a aplicação não ficará tão bem distribuída pelo fato de as doses serem constantes dentro de cada zona.

No entanto, AP é um sistema de gestão que considera a variabilidade espacial das lavouras em todos os seus aspectos, como produtividade, solo (características físicas, químicas, compactação, etc), infestação de ervas daninhas, pragas e doenças, as quais não se deve deixar de considerar.

Outra grande tendência da AP no Brasil são os sistemas de direcionamento. Os dispositivos popularmente conhecidos como “barra de luz” são largamente utilizados para direcionamento em passadas paralelas em operações que não exigem precisão com erros menores que 0,3 metros entre passadas. Da evolução natural desses dispositivos, surgiram os sistemas de auto-esterçamento ou piloto-automático.

Um dos avanços mais recentes na AP é a aplicação de fertilizantes nitrogenados em taxa variável com base na refletância das plantas em determinados comprimentos de

onda, tanto por sensores óticos terrestres como por imagens de satélite, sendo usados para leitura, interpretação e recomendação em tempo real (Molin, 2009).

Ao focar a fertilização com nitrogênio, a determinação da dose a ser aplicada com base na produtividade esperada tem sido a mais confiável (RAUN et al., 2001) e neste aspecto o mapeamento da produtividade tem fundamental importância. Entretanto, segundo Moges et al. (2004), medidas indiretas e não destrutivas da cultura são uma alternativa para as tomadas de decisão sobre o manejo. Nesta direção, existem atualmente no mercado, equipamentos com a capacidade de estimar indiretamente a nutrição das culturas por N e a sua capacidade de resposta em determinada condição de clima e solo, possibilitando a implementação de fertilizantes nitrogenados em cobertura, dentro da mesma safra.

As ferramentas para se começar a executar a Agricultura de Precisão já estão disponíveis no mercado, no entanto, o maior entrave para o desenvolvimento dessa técnica é a indisponibilidade de mão-de-obra qualificada, sendo uma potencial oportunidade para profissionais da área.

4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

4.1 Acompanhamento das atividades agrícolas realizadas na empresa

4.1.1 Corte, carregamento e transporte (CCT) e Colheita, transbordo e transporte (CTT)

A fim de entender o funcionamento do processo do fornecimento de matéria prima à indústria e conseqüentemente detectar possibilidades de melhoria, acompanhou-se todo o processo de corte, colheita, carregamento, transbordo e transporte de matéria prima que é realizado na empresa.

A colheita é a operação de corte da cana de açúcar com a finalidade de moagem na indústria, visando bom desempenho operacional e industrial aliado ao baixo índice de perdas e impurezas.

Pode ser realizada manual ou mecanizado de acordo com os aspectos: disponibilidade de mão de obra, topografia, aspectos tecnológicos, condições de campo, etc.

Atualmente, a unidade de Catanduva possui dois sistemas de entrega de cana para a indústria. Um deles é o Corte, carregamento e transporte (CCT), e outro é a

Colheita, transbordo e transporte (CTT). O CCT engloba todo o processo de retirada de cana inteira das áreas, até chegar à indústria. A cana inteira é aquela que é cortada manualmente e necessita ser queimada para facilitar o corte e diminuir a incidência de animais peçonhentos. Já o CTT engloba todo o processo de retirada de cana picada das áreas até chegar à indústria. A cana picada é aquela cortada com máquina colhedora. Atualmente, cerca de 70 % da produção é oriunda de colheita mecanizada, sendo que a previsão é de aumentar de ano em ano.

A parte de CCT possui três frentes de corte manual, cujo carregamento e transporte são terceirizados e os trabalhadores do corte são próprios, e três frentes de corte manual completamente terceirizadas.

Antes de fazer a queima da cana que será cortada manualmente, é necessário obter uma liberação junto ao CETESB, sendo ainda que a queima só poderá ser feita durante a noite, e apenas em dias em que a UR do ar tiver acima de 60 %. Também é necessário realizar o aceramento para deitar a cana para dentro do talhão, diminuindo assim a chance de as chamas se alastrarem para outros talhões. Após isso toma-se ainda o cuidado de passar a motoniveladora no carreador, para tirar a palha remanescente.

Na parte de CTT, a unidade de Catanduva possui oito frentes de colheita mecanizadas, sendo seis próprias e duas terceirizadas. As colhedoras são todas da marca Case, sendo elas da série 7700 e da série 8800. Das vinte e cinco colhedoras próprias, três são de duas linhas, para atender as áreas de plantio combinado (1,5 X 0,9 m) e em áreas de espaçamento normal (1,5 X 1,5 m) com baixo rendimento produtivo. Embora o plantio combinado tenha sido abandonado, tem-se estudado a possibilidade de substituir parte das colhedoras de linha simples por colhedoras de linha dupla, justamente para aumentar o rendimento operacional em áreas de baixo rendimento produtivo. Em áreas de alto rendimento produtivo, essas colhedoras conseguem colher apenas uma linha, pelo fato de as máquinas não conseguirem processar uma quantidade tão alta de cana.

De maneira geral, cada frente mecanizada é composta por quatro colhedoras e oito transbordos, sendo que para cada colhedora, devem estar disponíveis dois conjuntos de trator-transbordo, não sendo estes obrigatoriamente fixos entre si. Cada colhedora colhe aproximadamente 500 toneladas por dia, o que resulta em aproximadamente 2000 toneladas de cana cortada por dia em cada uma das seis frentes mecanizadas próprias. O consumo de combustível médio é de 37 L h⁻¹ ou 1,15 L ton⁻¹.

De maneira geral, cada frente de colheita mecanizada é composta pelos seguintes cargos e funções por turno de 8 horas:

- 1 líder agrícola
- 2 ou 3 engatadores e “noteiros” no ponto de engate
- 4 operadores de colhedoras
- 8 operadores de transbordo
- 1 mecânico
- 1 ajudante de mecânico
- 1 soldador (apenas no turno das 7 às 13 horas)
- 1 motorista e 1 bombeiro no caminhão bombeiro

Para cada frente de colheita mecanizada própria existe um caminhão oficina, Cada frente ainda possui um caminhão bombeiro, e ainda tem mais dois caminhões bombeiros auxiliares que atendem emergências, como incêndios em áreas não programadas para queima, quando é realizada a troca de fazenda das frentes, quando há necessidade de molhar as estradas e pontos de engate para diminuir a poeira. Quando é realizada a troca de uma frente de uma área para outra, é necessário ter um caminhão bombeiro no local atual, e outro no local para onde irá mudar. Quando há necessidade de molhar as estradas e pontos de engate, os bombeiros nunca poderão gastar mais do que 1/3 da água disponível no tanque, para estarem preparados caso ocorra alguma emergência. Em cada caminhão bombeiro sempre tem duas pessoas.

Para cada duas frentes de colheita mecanizada própria, há também um comboio de combustível.

Em todas as frentes de colheita é realizada a análise de perdas na colheita e infestação de brocas na colheita. A parcela a ser amostrada é de 25 m² (7,5 m de largura x 3,3 m de comprimento). São identificadas na parcela as perdas visíveis (Toco, Tolete, Ponta, Cana Inteira, Pedaco). Esse material é separado, posteriormente cada um dos itens é pesado (balança de precisão digital) e os resultados são anotados em planilhas padronizadas. Nestas planilhas devem ser anotadas as características da cana e do terreno onde os levantamentos foram feitos, tais como: variedade, estágio de corte, tipo de cana (cana crua ou cana queimada), estado da cana (cana reta ou cana torta),

tombamento (cana ereta ou cana tombada). Também é avaliada a centralização da leira (maior e menor). Esse ponto é realizado a uma distância de 100 passos do carreador e em um relevo que seja o padrão da área, dando garantia de representatividade ao ponto amostral. Na avaliação da infestação final de broca da cana-de-açúcar, é verificado se tem a infestação, e em caso positivo qual a intensidade dessa infestação, servindo esse dado como um “feedback” do controle de brocas realizado durante o ciclo de crescimento da cultura.

A partir desse ano, em todas as frentes, o transbordo da cana colhida para os reboques está sendo feito em pontos de engate (Figura 1). Esses pontos de engate consistem em áreas pré-determinadas em cada fazenda ou quadra, as quais servirão durante todos os cortes apenas para essa função, ou seja, são áreas que não serão mais cultivadas. Cada ponto de engate tem dimensões de 110 m de comprimento por 25 m de largura. Cada ponto de engate tem lugar para quatro caminhões, dois em cada fileira, sendo que os mesmos se revezam em X, ou seja, de modo desencontrado, para sempre ter um caminhão por fileira e um na frente e um atrás, o que facilita o descarregamento dos transbordos por ambos os lados, não importando em que direção os mesmos venham, e evitando congestionamento (Figura 2).



Figura 1. Ponto de engate em frente de colheita mecanizada.

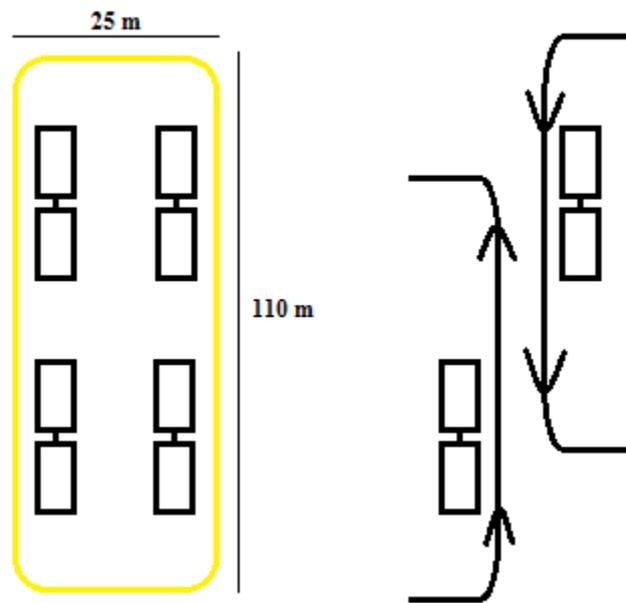


Figura 2. Demonstração de ponto de engate, com destaque para o sistema de transbordo por ambas as direções.

Perto de cada ponto de engate fica instalada a área de vivência. Essa área é composta por uma carreta de vivência e estacionamento para um carro, sendo os limites devidamente demarcados por cones e faixas de sinalização (Figura 3). A carreta de vivência possui banheiro, água potável resfriada, mesas e bancos para as refeições, é coberta e possui energia elétrica obtida por gerador movido a motor à gasolina para resfriar a água e para ter iluminação para os trabalhadores do turno da noite.

Além dos líderes das frentes de colheita, que são responsáveis pelo funcionamento das mesmas, existem os supervisores de colheita, os quais além de serem responsáveis por esse funcionamento, ainda são responsáveis pelo planejamento dos trajetos, pontos de engate e plaqueamento dos locais para os quais as frentes irão mudar em sequência. No turno das 7 às 15 horas são dois supervisores para as seis frentes mecanizadas próprias e um supervisor para as demais frentes de colheita. Nos turnos das 15 às 23 horas e das 23 às 7 horas, é um supervisor para as 6 frentes mecanizadas próprias e 1 supervisor para as demais frentes de colheita.



Figura 3. Área de vivência.

Além dos supervisores de colheita, as frentes são atendidas no turno das 7 às 17 horas por dois supervisores que são responsáveis individual e especificamente apenas pelas colhedoras e apenas pelos transbordos.

Cada conjunto trator-transbordo é composto por um trator Modelo BH 180, o qual reboca um transbordo de 30 m³. Outro sistema de transbordo é o caminhão-transbordo, o qual possui duas caixas de 15 m³ alocados sobre o chassi. (Figura 4). Portanto, a capacidade de carga desses dois sistemas é muito semelhante, podendo transportar de 9 a 13,5 ton por viagem, dependendo da densidade da cana, que também pode variar de 300 a 450 kg m³.



Figura 4. Sistema de transbordo caminhão-transbordo (A) e sistema de trator rebocando transbordo (B).

Para o transporte da matéria prima do campo até a indústria, existem trinta e cinco caminhões rodotrem próprios e oito terceirizados. Cada caminhão tem capacidade de transportar de 50 a 60 toneladas por viagem, dependendo da densidade da carga.

Para proporcionar um grande fluxo de giro de caminhões fora da usina, os caminhões trabalham no sistema de “bate e volta”, ou seja, entram com os reboques, pesam, desengatam no pátio, engatam dois reboques vazios que já estavam descarregados no pátio e já saem da usina em um intervalo de tempo muito curto. No pátio estão sempre oito caminhões “escravos” cuja única função é levar os reboques carregados do pátio até o hilo para descarregamento, e trazer as mesmas vazias para o pátio.

A velocidade média que os caminhões conseguem fazer durante o trajeto é em torno de 32 km h^{-1} . Essa velocidade depende muito da quantidade de pista asfaltada e de pista de terra em que é realizado o trajeto. Muitas vezes o trajeto é prejudicado pelo fato de os caminhões, para respeitar as leis de trânsito vigentes, não poderem cruzar a pista para fazer a transição entre asfalto e estrada de terra, e pelo fato de os mesmos não poderem transitar em algumas rodovias vicinais. O consumo de combustível médio varia de 1,2 a $1,4 \text{ km L}^{-1}$. Caso os caminhões permaneçam em grande parte do trajeto em estrada de terra, o consumo de combustível aumenta muito.

Para organizar a chegada de cana para usina e a saída de caminhões para as frentes de colheita, o setor de controle de tráfego tem fundamental importância. A pessoa responsável pelo controle de tráfego é responsável por decidir para qual frente de colheita cada caminhão deverá ir e a quantidade de caminhões que deverão ir para cada frente. Os fatores que são tomados como base para tomar essa decisão são a distância das frentes até a usina, a quantidade que está sendo colhida a cada hora em cada frente, a quantidade que cada caminhão é capaz de transportar, e também a quantidade de matéria prima que a indústria está conseguindo processar, ou seja, a cada momento é feito um novo dimensionamento de acordo com as informações que chegam ao controlador de tráfego.

Em cada turno, três pessoas trabalham no controle de tráfego. Uma direciona os caminhões às frentes de colheita, uma pesa os caminhões no momento da saída para as frentes e uma pesa os caminhões na chegada, coletando as notas e já lançando as informações das mesmas no sistema.

O abastecimento de cana para a indústria deve ser tal que nunca falte matéria prima na moagem, mas também não fiquem muitos caminhões cheios à espera no pátio. Essa relação precisa ser constantemente ajustada, por um lado pela quebra ou manutenção programada da indústria e pelo outro pela variação no rendimento operacional das colhedoras, em função de possíveis quebra das mesmas, colheita em locais com baixo rendimento das máquinas ou interrupção da colheita em frentes em que choveu. Além disso, a cada dia uma das quatro colhedoras entra em manutenção programada, ou seja, cada máquina passa por manutenção programada a cada quarto dia. Por esse motivo é necessário ter um controlador de tráfego. Cada frente tem disponibilidade de enviar matéria prima diferente de hora em hora. De hora em hora essa disponibilidade é informada pelo líder de cada frente, o qual também informa quantas máquinas estão colhendo, o motivo de estarem paradas e o horário de início e término da parada.

No controle de tráfego também é feita a liberação para corte das fazendas e talhões no sistema PIMS. Só assim é liberada a impressão das etiquetas para serem enviadas para as frentes de colheita. A colheita poderá até ser feita antes da liberação. Porém, a entrada dos caminhões na balança só será permitida se a área tiver liberação no sistema.

Essa comunicação entre o controlador de tráfego e os líderes das frentes de colheita também ajuda os líderes a tomarem decisões no campo. Caso os líderes recebam a informação de que a indústria está parada ou em manutenção, eles podem transferir as colhedoras para áreas de baixo rendimento operacional, como curvas de nível, ruas mortas, ou seja, ruas que ao invés de terminar em carregadores terminam em outra rua, locais extremamente declivosos ou áreas de baixo rendimento produtivo, as quais iriam causar baixo fluxo de envio de matéria prima à indústria em momentos de pico.

Para que os caminhões não fiquem parados durante o horário de troca de turno, existem quatro veículos para fazer essa troca durante o percurso. Por isso, os caminhões só saem do pátio no horário próximo aos momentos de troca de turno, caso haja necessidade nas frentes de colheita.

Também é responsabilidade do controle do tráfego emitir as notas de transporte em branco e as respectivas etiquetas para que os “noteiros” preencham as mesmas nos

pontos de engate, com os dados de frente de colheita, números da fazenda, quadra e talhão, caminhão e motorista do mesmo. Além dessas informações, no corte mecanizado são coladas etiquetas com as informações da colhedora e operador da mesma, conjunto trator-transbordo e operador do mesmo. No caso das frentes de corte manual, ainda são colocadas etiquetas com as informações da carregadeira e o operador da mesma, conjunto trator-reboque e o operador do mesmo. Para cada reboque que entra na usina é feita uma nota, e para cada carga de transbordo que é descarregada no reboque é feita uma nova fileira de etiquetas na nota do seu respectivo reboque. A demanda de notas e etiquetas nas frentes é informada pelos líderes das frentes, sendo que as etiquetas são enviadas às frentes pelos próprios motoristas dos caminhões. Essas notas são entregues pelos motoristas dos caminhões no momento da pesagem. A coleta desses dados é extremamente rápida, sendo que essas etiquetas são todas em forma de código de barras, com as informações previamente cadastradas no sistema de leitura, permitindo grande fluxo de entrada e pesagem dos caminhões carregados.

A indústria é composta por duas moendas, a Five Lille com capacidade de processamento de 650 toneladas por hora, e a Dedine com capacidade de processamento de 300 toneladas por hora, totalizando uma capacidade de moagem de aproximadamente 950 toneladas por hora.

Durante a entrada dos reboques na balança é realizado o sorteio de 3 a cada 10 caminhões da frota própria para realizar a análise tecnológica, a qual é realizada durante o percurso do pátio até o descarregamento no hilo. Na frota terceirizada em todos os reboques que sobem é realizada a análise tecnológica. Nessa análise são realizados os testes de Pol, Brix, Pureza, Fibras, ATR, AR do caldo, Impureza, Minerais, etc.

De acordo com o que foi observado, pôde se detectar alguns problemas e consequentes sugestões de melhoria. Um problema encontrado foi o fato de que numa mesma balança é realizada a pesagem dos caminhões que entram com matéria prima e saem vazios para buscá-la, dos caminhões que expedem açúcar, etanol e torta de filtro. Isso gera congestionamento em alguns momentos.

Outro problema é o fato de os caminhões saírem da usina com dois reboques diferentes dos que entraram na usina. Pelo fato de a pesagem da tara ser realizada no momento da saída dos caminhões para o campo, e cada reboque ter uma tara diferente, isso pode gerar diferenças na pesagem, afetando consequentemente no fechamento dos

rendimentos produtivos das áreas lançados no sistema e na premiação dos operadores das máquinas envolvidos em todo o processo. No entanto, foi constatado que essa variação é irrisória, não compensando embutir um aumento de tempo para efetuar a pesagem de cada reboque antes e após o descarregamento.

Foi observado um intenso pisoteio das linhas da cultura, em virtude de as bitolas dos transbordos não se ajustarem ao espaçamento da cultura. Para a safra de 2014 está prevista a implantação de pilotos automáticos nas colhedoras, orientados por sistema GPS com correção RTK. No entanto, para diminuir o pisoteio das soqueiras, além de ajustar as bitolas dos transbordos para 3 m, precisa-se mudar também o sistema de plantio, excluindo-se as ruas mortas, ou seja, ruas que ao invés de terminarem em carregadores terminam em outras ruas, gerando um grande número de manobras e consequente pisoteio dentro dos talhões.

Também ainda não ocorre uma conscientização por parte dos funcionários de todos os setores da empresa que utilizam automóveis para realizar suas funções, de que o tráfego de automóveis dentro das áreas é extremamente prejudicial à produtividade e longevidade do canavial.

Outro problema verificado é a falha na comunicação dos operadores das colhedoras e os operadores dos transbordos, sendo que muitas vezes a colhedora está parada esperando transbordo, e os transbordos estão parados no ponto de engate esperando o sinal para irem à alguma das frentes. Isso faz com que o rendimento operacional seja prejudicado. Seria interessante embutir algum tipo de rádio, para estabelecer uma comunicação entre ambos.

Foi detectada também a possibilidade de implantação de um aparelho GPS em cada frente, para auxiliar os líderes das frentes a prever com mais exatidão a quantidade de cana que ainda falta ser colhida. Como os líderes já tem em mãos a estimativa de produtividade da cana, caso tenham também a área exata que resta ser colhida, eles conseguem prever com mais exatidão o horário que ocorrerá o término da colheita nessa área e consequentemente a mudança de área, podendo solicitar o transporte via pranchas com antecedência, reduzindo-se o tempo nessa operação de mudança, visando o abastecimento de matéria prima na indústria.

4.1.2 Tratos Culturais

O setor de tratos culturais engloba todo um conjunto de operações que tem como objetivo cuidar do canavial desde a implantação até o seu fechamento. Consiste nas operações de aplicação de corretivos, cultivo tríplice, aplicação de herbicida e fertirrigação.

As práticas corretivas são realizadas com intuito de aumentar a eficiência dos fertilizantes utilizados, promovendo maior desenvolvimento do sistema radicular e tornando os nutrientes disponíveis na solução do solo. Tais operações são essenciais para obtenção de altas produtividades e longevidade dos canaviais. No entanto, a aplicação homogênea dos insumos, bem como das doses recomendadas é fundamental que os resultados desejados sejam alcançados.

A calagem é realizada com intuito de elevar o pH do solo, disponibilizando os nutrientes do solo e reduzindo a atividade do alumínio, que em excesso afeta negativamente o desenvolvimento do sistema radicular. Além dos benefícios corretivos, o calcário fornece cálcio e magnésio, que são elementos essenciais às plantas.

A gessagem tem o efeito de condicionador de solo, reduzindo a atividade do íon alumínio, bem como aumentando os teores de cálcio em subsuperfície, e em função disso o desenvolvimento radicular é altamente beneficiado.

A fosfatagem visa elevar os teores de fósforo do solo, que nas condições tropicais são geralmente baixos. Em solos arenosos como é o caso da maior parte dos solos das unidades da Noble, a fosfatagem promove maior desenvolvimento radicular aumentando a eficiência do fertilizante aplicado no sulco de plantio.

Uma vez por mês é realizado teste de aplicação com todos caminhões aplicadores de corretivos, por parte do setor de controle de qualidade. Tal teste é realizado com auxílio de bandejas, que mensuram a distribuição e a dose aplicada. É utilizado o Software Adulção 3.0 (desenvolvido pelo departamento de engenharia de biosistemas da ESALQ-USP) para inserção dos dados obtidos.

Na operação de Cultivo Tríplice é realizada a descompactação do solo e a adubação da soqueira. Consiste em uma subsolagem rasa na entrelinha da cultura, onde é injetado o adubo líquido na mesma operação. Normalmente é realizada 15 a 30 dias

após o corte da cana. Deve-se ter cuidado para que a soqueira não seja arrancada nem pisoteada, e que seja realizada na profundidade recomendada.

A aplicação de herbicida é realizada com o intuito de controle das plantas daninhas que competem com a cultura por água, luz, nutrientes e espaço físico até que ela chegue ao seu fechamento e passe a exercer o controle cultural por si só. Importantes fatores devem ser considerados para um maior sucesso na escolha dos herbicidas e suas doses, como seletividade, % argila, características das moléculas, época de aplicação, alvo, infestação, identificação das principais espécies, matéria orgânica, CTC do solo, etc. Já está se realizando testes para realizar a aplicação de herbicidas em pré-plantio incorporado à taxas variáveis de aplicação, baseando-se nos teores de argila, matéria orgânica e CTC do solo, obtidas nas análises de solo. A operação de fertirrigação é realizada com o intuito de irrigação e fornecimento de alguns nutrientes derivados de um subproduto da cana de açúcar conhecido como vinhaça.

4.1.3 Preparo e Plantio

Durante o preparo do solo é realizado um conjunto de operações que preparam o terreno, adequando-o para a implantação da cultura, com o objetivo de promover uma melhor condição para desenvolvimento do sistema radicular, destruição de restos culturais, incorporação de corretivos, controle de pragas de solo, otimização do desempenho das operações agrícolas e conservação do solo.

Primeiramente é realizada a sistematização da área, formando-se as curvas de nível, ou os terraços de base larga. Esses terraços são desenhados em nível, com base no levantamento topográfico realizado com aparelhos GPS com correção diferencial pós-processada a partir de arquivos fornecidos pelo IBGE. Para os anos seguintes, com as construções das bases fixas, os dados para correção pós-processada já devem ser próprios.

No caso de a área ser planejada com curvas de nível, sejam embutidas ou invertidas, as linhas de plantio são traçadas em nível, acompanhando a curva. Esse sistema é mais seguro quanto à erosão, mas tem o problema de resultar em um grande número de ruas mortas entre as curvas, ou necessidade de alocar um carreador entre cada par de curvas. No caso de a área ser planejada no sistema de curvas de nível de base larga, as linhas de plantio são traçadas de modo a todas elas serem paralelas entre

si, seja em sistema de linha reta ou em curvas, tentando-se manter ao máximo essas linhas em nível. Esse sistema é muito eficiente quanto ao praticamente inexistente número de ruas mortas, mas é suscetível a erosão caso ocorram precipitações de alta intensidade, quando o plantio é realizado em épocas chuvosas. Na sistematização é feito o uso de maquinário pesado, como retroescavadeiras, motoniveladoras, entre outros.

Sistematizada a área, iniciam-se as práticas corretivas de calagem, aplicação de torta de filtro enriquecida com gesso e fosfato, subsolagem, e gradagem intermediária. Em áreas com incidência de Besouro Migdolus (*Migdolus sp.*), ao invés do subsolador, utiliza-se o arado de aivecas equipado com aplicador de inseticida, para realizar a barreira química a 0,4 m de profundidade.

Feito o preparo do solo, inicia-se o plantio, o qual pode ser plantio de ano, de inverno e de ano e meio. O plantio de ano e meio é realizado nos meses de fevereiro a maio, sendo que o primeiro corte se dê no final do ano seguinte. Geralmente são os plantios que resultam nos melhores rendimentos produtivos. O plantio de inverno é realizado nos meses de junho a agosto, sendo o primeiro corte realizado na mesma época do ano seguinte. O plantio de ano é realizado nos meses de setembro a novembro, sendo primeiro corte realizado na mesma época do ano seguinte.

As operações de plantio são fundamentais para o sucesso e longevidade do ciclo da cultura, exigindo-se nesta etapa um bom planejamento e conhecimento técnico. Lembrando que para este sucesso da cultura todo um manejo de ambientes de produção, variedades e tratos culturais devem ser levados em consideração. Pensando em qualidade das operações realizadas os principais parâmetros a serem avaliados no plantio são: qualidade e idade da muda, distribuição (número de gemas viáveis por metro), profundidade de sulcação, paralelismo entre sulcos e espessura de cobertura.

O plantio pode ser mecanizado ou manual. O plantio mecanizado pode ser realizado de duas formas. Uma delas é a sulcação com posterior disposição de mudas no sulco com distribuidora de mudas. A outra consiste nessas duas operações realizadas na mesma operação.

No primeiro caso, primeiramente é realizada a sulcação, sendo que os tratores Valtra BH 180 são guiados por piloto automático e sinal de GPS RTK, sendo tudo da marca TRIMBLE. A profundidade dos sulcos desejada é de aproximadamente 35 cm. Nessa sulcação já é realizada a adubação líquida com Agrolmin + NPK, na formulação 5-15-00 (em áreas de vinhaça) ou 4-12-10 (áreas sem vinhaça). Posteriormente, principalmente nos plantios de inverno, é realizada a deposição de torta de filtro

enriquecida ou não com gesso agrícola e fosfato, dentro do sulco. A deposição de torta de filtro no sulco, além de melhorar a brotação das gemas, proporciona um aumento de produtividade. Após isso é realizada a deposição das mudas dentro do sulco, com a distribuidora de mudas Antoniozi. Finalmente é realizada a cobertura das mudas, já aproveitando para realizar a aplicação de inseticida e nematicida. No plantio de inverno é aplicado também fungicida, visando o controle da podridão abacaxi, que nessa época apresenta alta incidência. No segundo caso, como a sulcação e a distribuição das mudas é realizada pela mesma máquina, plantadora DMB, não é possível aplicar a torta de filtro no sulco. A diferença do plantio manual, é que não existe máquina distribuidora de mudas, ou seja, as mudas são distribuídas manualmente.

A vantagem da distribuição das mudas de cana de forma manual, é a possibilidade de usar de 15 a 18 gemas por metro, enquanto que com uma distribuidora Antoniosi, são usadas em média 22 a 30 gemas por metro, e a qualidade do plantio ainda é inferior. A desvantagem desse sistema é a alta demanda de mão-de-obra.

O abastecimento de mudas para o plantio é realizado por duas frentes de colheita mecanizadas próprias. Essas duas frentes de colheita mecanizada atendem à indústria quando necessário ou quando o plantio é interrompido.

4.1.4 Topografia

O setor de topografia da empresa é responsável por fazer a medição das áreas de reforma e expansão, fazer a sistematização dessas áreas, passar a mesma para a equipe de preparo e plantio, e posteriormente fazer a medição da área real que foi plantada.

Atualmente os equipamentos utilizados para fazer a medição das áreas são um GPS Leica SR900 L1/L2, com correção diferencial pós processada. Os dados de correção são coletados de uma base fixa da Coplana, no município de Guariba-SP. Com a implantação das quatro bases fixas, prevista para entrar em funcionamento em 2013, a correção será feita a partir dessas bases.

O topógrafo é responsável por fazer toda a parte de desenho das linhas de plantio, curvas de nível e vírgulas de contenção de água que descem pelas estradas.

Antes de ser realizado o preparo da área, o topógrafo também é responsável por demarcar por meio de estacas a localização das curvas, e das vírgulas de contenção.

4.1.5 Geoprocessamento

Toda a parte de Geoprocessamento é realizada no software Geo Media Professional. Nesse setor são realizadas todas as atividades de elaboração de mapas. Um analista é responsável por elaborar os mapas de pragas de solo. Nas áreas de expansão e reforma de canavial, o analista de geoprocessamento faz a grade amostral de 1 amostra.ha⁻¹, imprime o mapa e passa para o líder da equipe de campo, juntamente com as coordenadas já passadas para o aparelho de GPS e a ficha de anotação. A equipe de campo faz as trincheiras com dimensões de 0,5 m de profundidade por 0,5 m de largura por 0,5 m de comprimento, procurando e marcando todas as pragas de solo que forem encontradas. O analista de geoprocessamento recebe os levantamentos realizados pelas equipes de campo, junto com os pontos coletados com o aparelho de GPS. Os mapas de infestação são elaborados apenas para Migdolus. Caso seja encontrada uma larva em alguma trincheira na área, já é suficiente para recomendar barreira química com inseticida Imidacloprid no preparo de solo. Caso não seja encontrado, será recomendado apenas a aplicação de inseticida Fipronil na cobertura das mudas na hora do plantio. A vantagem de recomendar a aplicação de Fipronil, é o fato de o mesmo já controlar cupins, formigas e outras larvas no solo. É o próprio analista que decide qual produto vai ser utilizado e a dosagem do mesmo, de acordo com as orientações recebidas da equipe técnica. Já está se pensando em fazer barreira química localizada ou a taxas variáveis de aplicação. Isso também já está sendo estudado para a aplicação de herbicidas. Após elaborar os mapas de infestação de Migdolus, são analisadas imagens do Google Earth para ver se as manchas conferem com o que a equipe de campo levantou, sendo que essas manchas são facilmente visualizadas nesse tipo de imagem.

Toda vez que for realizada a reforma de alguma fazenda, quadra ou talhão, ou for uma área de expansão, essa área é cadastrada no software Geo Media e posteriormente no PIMS, que é o sistema administrativo da empresa. Um analista de geoprocessamento recebe um mapa da área com os apontamentos de carregadores, curvas, linhas de força, entre outras, do líder da frente de plantio. Ele também recebe a

medição da área real plantada, realizada pelo Topógrafo. Com essas informações ele elabora o mapa da área e disponibiliza no sistema PIMS.

No setor de geoprocessamento também são elaborados os mapas de NDVI, através de imagens de satélite disponibilizadas gratuitamente. Os mapas de NDVI atualmente são usados apenas para controle e visualização das áreas que já foram colhidas e das que ainda estão disponíveis para colheita.

No setor de geoprocessamento também é realizado o estudo de potencial do uso de terra dentro da área de abrangência da usina, para posteriores possíveis arrendamentos.

No setor de geoprocessamento também são elaborados os mapas do Programa de Aproveitamento da Vinhaça (PAV), para monitorar os níveis de potássio no solo a fim de evitar contaminação do lençol freático e conseqüentemente autuações por parte dos órgãos ambientais.

4.1.6 Agricultura de Precisão

Toda aplicação de calcário é realizada em taxa variável, considerando a análise de solo feita no mesmo ano. A calagem sempre é realizada no preparo de solo, após o primeiro corte, após o terceiro corte e cortes ímpares subsequentes. Portanto, a amostragem de solo é realizada antes do preparo de solo, após o primeiro corte, após o terceiro corte e nos cortes ímpares subsequentes.

A partir desse ano, todo o processo de amostragem de solo foi terceirizado pela empresa APagri, de Piracicaba. Inicialmente, os contornos de todas as áreas foram enviados para arquivamento da APagri (Lat, Long, WGS 84, SHP, formato Poligon). No caso das áreas em expansão, as mesmas podem ser enviadas e anexadas via WEB, no mesmo formato.

Após receber o sinal de término de colheita de cada área, o setor de geoprocessamento envia um arquivo em planilha Excel para a APagri com as áreas disponíveis para amostragem, contendo os respectivos números da fazenda, quadra e talhão. Tanto o envio das áreas a serem amostradas, como o recebimento dos resultados das análises de solo e dos mapas de aplicação, são concentrados no setor de geoprocessamento.

Ao receber as áreas disponíveis para amostragem, a APagri gera a grade amostral quadrangular de 3 hectares por amostra, enviando-o em seguida para as equipes de amostragem da APagri. São enviados também os arquivos em formato SHP das grades utilizados na amostragem para o arquivamento da Noble Bioenergia. Uma vez gerado o grid, o mesmo será fixo, sendo utilizado nas amostragens nos anos posteriores, podendo assim também ser usado para acompanhamento do comportamento temporal das áreas.

As duas equipes de amostragem ficam sediadas no município de Ibirá-SP, atendendo as áreas das unidades de Catanduva e Potirendaba, sendo cada equipe formada por duas pessoas, as quais utilizam uma pick-up e um amostrador de solo mecânico movido à gasolina (STHIL, modelo BT45), para realizar as coletas de solo. As equipes trabalham de segunda a sábado, tendo cada equipe capacidade de amostrar 180 hectares por dia.

A grade amostral é passada para um receptor de sinal GPS, o qual é utilizado para navegação e localização dos pontos a serem amostrados. Em cada ponto são coletadas duas amostras, de 0 a 25 e de 25 a 50 cm, compostas por aproximadamente 10 subamostras coletadas num raio de aproximadamente 5,0 metros ao redor do ponto informado pelo receptor de sinal GPS (Figura 5). É disponibilizado também à equipe de amostragem um mosaico impresso, contendo a localização de todas as áreas da Noble Bioenergia. Também é realizado e gerado um mapa do caminhamento realizado por cada equipe de amostragem em formato GTM, para fim de conferência do trabalho realizado. As subamostras são homogeneizadas em balde plástico, compondo a amostra do ponto amostrado, devidamente posto em saquinho de amostragem, identificando a fazenda, quadra, talhão e ponto.

As amostras coletadas são enviadas preferencialmente para o Laboratório IBRA, através de transportadora de responsabilidade da APagri.

Após o término das análises, o laboratório envia os resultados para a APagri, a qual gera os mapas de aplicação à taxas variáveis de gesso e calcário, de acordo com os critérios de recomendação previamente informados pelos responsáveis técnicos da Noble Bioenergia, os quais devem também informar as características do calcário e do gesso que serão aplicados. O modelo de interpolação utilizado para elaboração dos mapas de aplicação é a krigagem. As legendas e classes de cores utilizadas são fixas

para facilitar a comparação visual. Também são enviados à Noble Bioenergia os resultados das análises em planilha Excel, no formato previamente estabelecido entre ambas as partes.

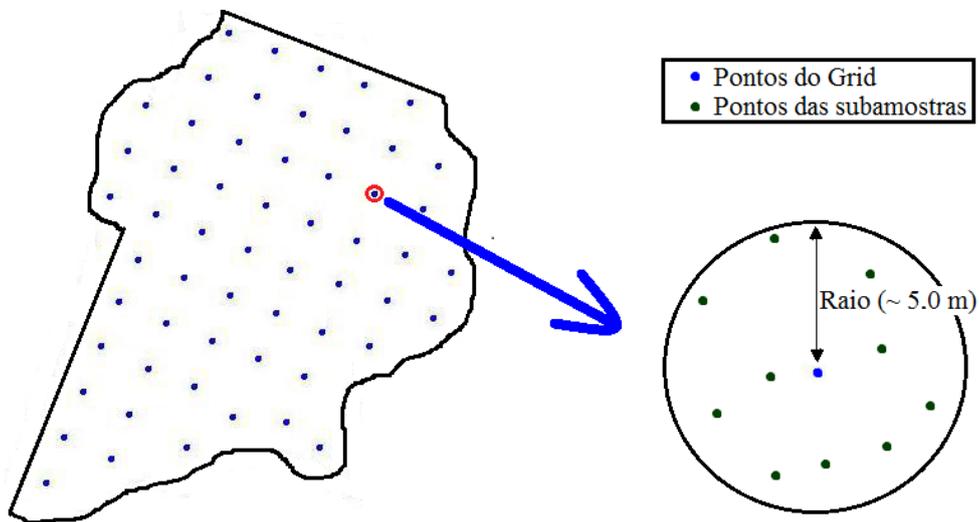


Figura 5. Amostragem em grade por ponto

O prazo para entrega dos mapas de aplicação de gessagem e calagem, junto com os resultados das análises em planilha Excel, é de 15 (quinze) dias após a data de coleta.

O setor de Geoprocessamento recebe os mapas de aplicação em formato SHP da APagri, e os encaminha para a equipe de tratamentos culturais, a qual é responsável por realizar a aplicação de calcário e gesso nas áreas.

Abaixo é demonstrado o fluxograma resumido do processo de amostragem e aplicação à taxas variáveis descrito acima.

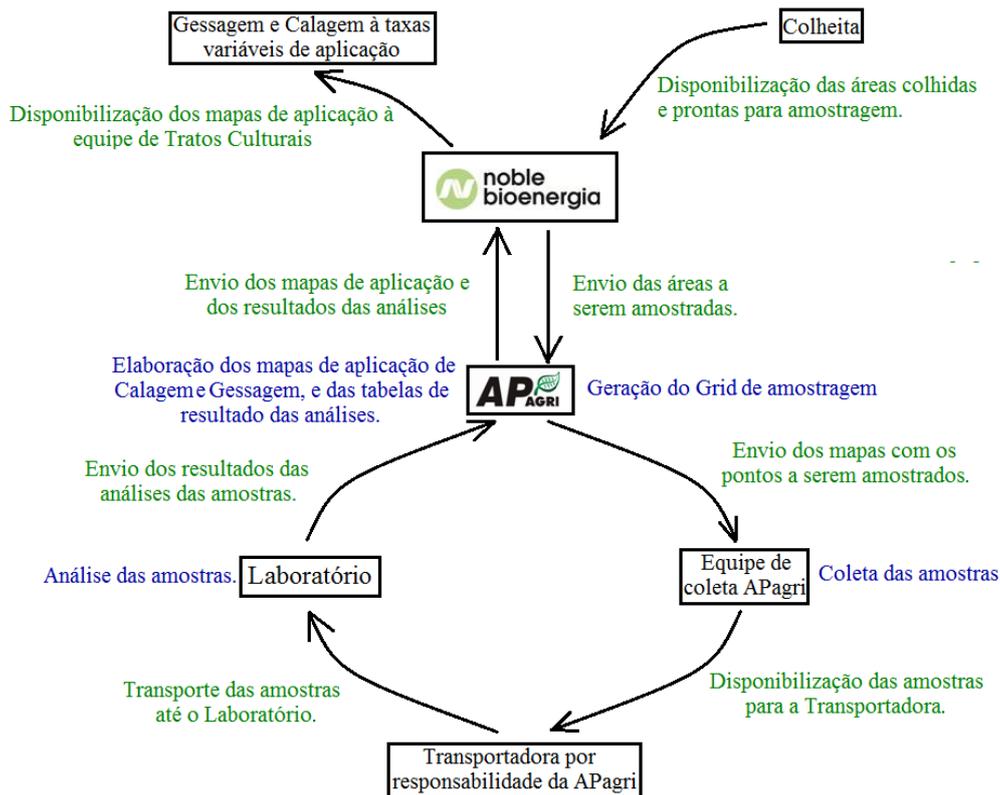


Figura 6. Fluxograma resumido do processo de amostragem e aplicação à taxas variáveis.

Atualmente, em todo plantio realizado é utilizado o piloto automático da marca Trimble, com correção RTK. No entanto, ainda não é possível utilizar esses dados pelo fato de as bases RTK ainda serem móveis, e não estarem amarradas à alguma superfície georreferenciada. Futuramente, os dados da sulcação realizada durante o plantio serão utilizados para orientar os pilotos automáticos que serão instalados nas colhedoras e nos transbordos, obtendo-se assim um tráfego controlado e conseqüentemente evitando-se o pisoteio das soqueiras. Para possibilitar isso, estão sendo implantadas quatro bases fixas de antenas RTK, as quais serão amarradas à base de coordenadas do IBGE, e cobrirão as áreas das unidades de Catanduba e Potirendaba. Essas bases também servirão para gerar dados para o setor de topografia realizar o pós-processamento das coordenadas dos dados da medição de suas áreas, a qual será feita com GPS portátil marca Trimble, modelo Net R6.

Na aplicação de adubo líquido e na pulverização de herbicida, fungicida e inseticida são usados equipamentos controladores de vazão. No entanto, atualmente, os

mesmos ainda são utilizados para garantir a taxa fixa de aplicação. Futuramente tem se estudado adotar a adubação e aplicação de inseticidas em taxas variáveis de aplicação.

4.2 Trabalhos de Pesquisa desenvolvidos

4.2.1 Estudos com NDVI

4.2.1.1 Introdução

O monitoramento e estimativa da quantidade de biomassa da cana-de-açúcar são de fundamental importância no planejamento das atividades de condução, colheita, transporte, processamento e comercialização da produção.

Nas últimas décadas, técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo usadas com esse fim. O princípio utilizado para o estudo da vegetação por sensoriamento remoto é a existência de relações entre respostas radiométricas de um dossel e os parâmetros que caracterizam o estado de crescimento da planta. As respostas radiométricas são captadas pelos sensores e utilizadas para inferir o crescimento da vegetação. Segundo WIEGAND & RICHARDSON (1990), os dosséis, desenvolvidos em resposta às condições complexas e dinâmicas do local, são monitorados a partir de dados espectrais e suas características são expressas por Índices de Vegetação.

Essa transformação dos dados espectrais em Índices de Vegetação é necessária para minimizar a influência de fatores externos que provocam perturbações nas respostas radiométricas de um dossel, tais como irradiações e reflexões de outros corpos, propriedades óticas do solo, ângulo de iluminação e de visada. Vários Índices de Vegetação têm sido propostos pela literatura especializada, buscando minimizar cada vez mais o efeito desses fatores externos à cultura.

Por meio da utilização desses índices, o sensoriamento remoto se mostra como uma alternativa interessante para se avaliar o desenvolvimento de culturas agrícolas, principalmente as de plantios extensos, como é o caso da cana-de-açúcar. Os dados orbitais têm sido usados, na literatura científica, com o objetivo de se determinar a relação entre a Refletância Espectral e o Índice de Vegetação (GALLO & EIDENSHINK, 1988; GUTMAN, 1987; GUTMAN, 1991; MYNENI et al., 1995) e, a partir deste último, estimar a Produtividade de uma cultura (IDSO et al., 1980, TUCKER et al., 1980 e CONESE et al., 1994).

Os estudos de estimativa da Produção de culturas agrícolas, com aplicação de dados de sensoriamento remoto, tomaram impulso com a utilização de imagens do satélite Landsat. Embora os satélites da série NOAA tenham sido desenvolvidos para aplicações meteorológicas e oceanográficas, seu radiômetro AVHRR possui um canal na região do Vermelho no espectro eletromagnético e outro na do Infravermelho Próximo, que são os mais adotados nos diversos índices de vegetação.

RUDORFF (1985) concluiu que a época mais propícia de aquisição de dados Landsat para o estabelecimento de um modelo de produtividade para a cana-de-açúcar encontra-se próximo ao mês de fevereiro, 1 a 2 meses antes do início da colheita. JOAQUIM (1998), utilizou imagens Landsat adquiridas no mês de abril devido a cultura estar próxima ao seu máximo desenvolvimento vegetativo e antes do início da colheita.

Sendo assim, o objetivo desse estudo foi verificar se é possível encontrar uma relação entre valores de NDVI obtidos por imagens de satélite e produtividade de colmos e biomassa da cultura da cana-de-açúcar, assim como verificar se existe uma data que melhor expresse essa relação.

4.2.1.2 Material e métodos

Para fazer esse estudo, foram usadas imagens de satélites obtidas durante o ano de 2012, para calcular o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Foram utilizadas imagens de dois satélites. As imagens do Indian Remote Sensing Satellite (IRS P6), as quais são gratuitas, apresentam resolução espacial de 24 metros e resolução temporal de 24 dias, e as imagens do satélite RapidEye, comercializadas pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) com o nome de CTCSat, as quais apresentam resolução espacial de 5 metros e temporal 24 horas. Como as imagens do IRS são gratuitas e processadas no próprio setor de geoprocessamento da Noble Bioenergia, foi possível usar imagens de praticamente o ano inteiro de 2012, desde 07 de março até 09 de outubro. Pelo fato de as imagens do CTCSat serem pagas, apenas pode ser usada a imagem do dia 09 de fevereiro de 2012.

O NDVI foi calculado diretamente no software Geo Media Professional, através das refletâncias nos comprimentos de onda do visível e do infravermelho próximo, de

ambos os satélites. No caso da imagem do CTCSat, foram utilizadas a Banda 5 (Infravermelho próximo – 0,76 a 0,85 μm) e a Banda 3 (Vermelho – 0,63 a 0,69 μm). Já no caso das imagens do IRS, foram utilizadas a banda 4 (Infravermelho próximo – 0,77 a 0,86 μm) e a Banda 3 (Vermelho – 0,62 a 0,68 μm)

Para fazer as biometrias de campo, foram feitas mensurações durante a colheita em quatro áreas de produção, das duas variedades mais plantadas na unidade, sendo essas áreas de cana soca de terceiro e quarto corte. Essas biometrias foram realizadas em locais de alta, média e baixa produtividade, dentro de um mesmo talhão, para mapear as variações da produtividade.

Em cada ponto amostrado, foram realizadas pesagens de biomassa e também de colmos despontados, em quatro linhas de 5 m de cana, totalizando uma área de 30 m² (Figura 7). As coordenadas desses pontos foram coletadas com uso de um aparelho GPS Garmin Etrex Vista código C/A.



Figura 7. Pesagens de biomassa (B) e desponte da cana após a pesagem de biomassa (A).

A partir dessas coordenadas, foram coletados os valores de NDVI, referentes aos pixels que essas coordenadas correspondiam, no software Geo Media Professional.

A partir dos dados de biomassa e produtividade de colmos, e dos valores de NDVI desses pontos nas diversas datas e satélites utilizados, foram feitas as regressões

lineares em planilha eletrônica de Excel, utilizando-se os valores de R^2 para verificar o ajuste dos dados.

4.2.1.3 Resultados e Discussões

Analisando-se os valores de R^2 em função da data das imagens do satélite IRS (Figura 8), observa-se uma tendência de os dados terem maiores relações entre NDVI e produtividade de colmos e biomassa nas épocas chuvosas, ou seja, de setembro a março. No entanto, nessa época, também devido à alta incidência de chuvas, essa é a época mais sujeita a ter imagens cobertas por nuvens, não podendo as mesmas serem utilizadas. Esse é justamente o motivo de não terem imagens de qualidade dessas épocas do ano. Essa maior relação nas épocas mais úmidas é corroborada quando se analisa o ajuste dos dados dos valores de NDVI obtidos pela imagem do CTCsSat, referente ao dia 09 de fevereiro de 2012. No entanto, pode se inferir que essa maior relação possa também ser possível pelo fato de essa imagem ter uma resolução muito maior do que as da imagem de satélite IRS.

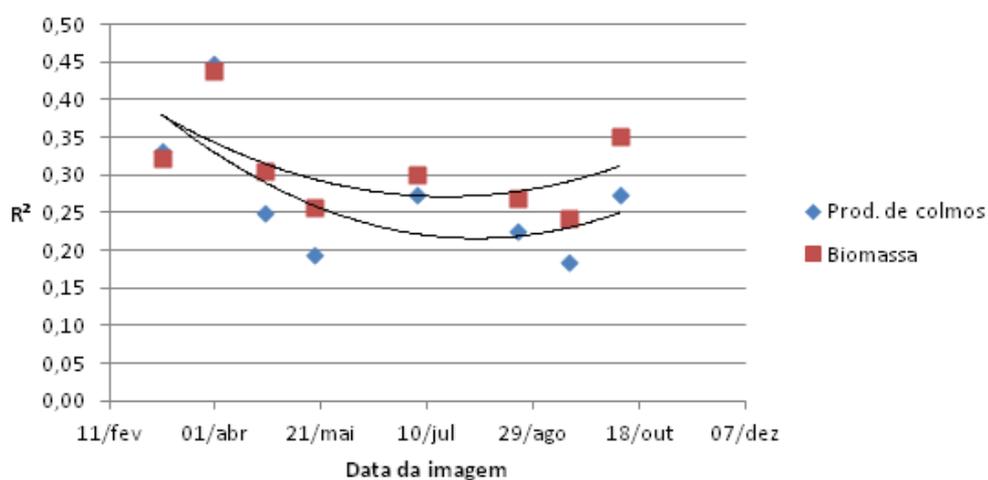


Figura 8. Dados de R^2 médio por data da imagem de satélite IRS disponível, para os dados de NDVI em função de Biomassa e de produtividade de colmos.

Analisando-se os dados médios dos valores de NDVI para cada data da Figura 9, verifica-se que houve uma boa coerência dos dados em relação ao que era esperado para

nossa região, sendo esperados valores altos de NDVI nas épocas chuvosas e valores baixos nas épocas de stress hídrico e temperaturas mais amenas.

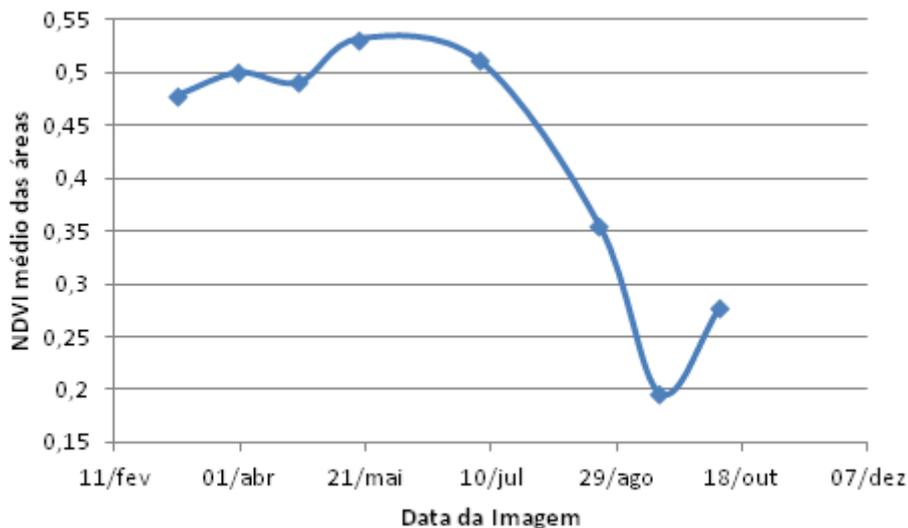


Figura 9. Valores médios de NDVI de todas as áreas para cada data de imagem se satélite IRS disponível.

Analisando-se esses valores médios de NDVI para cada data em conjunto com a precipitação mensal (Figura 10), é possível observar que as chuvas inesperadas que ocorreram nos meses de maio e junho influenciaram nos valores de NDVI, sendo que os mesmos apresentavam uma tendência de decaírem, e após essas chuvas, se obteve um novo pico nesses valores, decrescendo apenas após o mês de junho, em que se iniciou a falta de chuvas, voltando esses valores a aumentar quando retornaram as chuvas nos meses de setembro e outubro.

Analisando-se a Tabela 1, o valor do NDVI médio durante as datas das imagens para cada ponto, apresentou um ajuste dos dados semelhante, ou até superior ao mês em que houve o melhor ajuste dos dados, em alguns casos. Isso significa que caso não se tenha a possibilidade de fazer um estudo para verificar a melhor época para fazer a estimativa da produtividade, pode se usar com certo nível de segurança o valor do NDVI médio durante o ano para fazer essa mensuração.

Regime Pluviométrico Catanduva - 2012

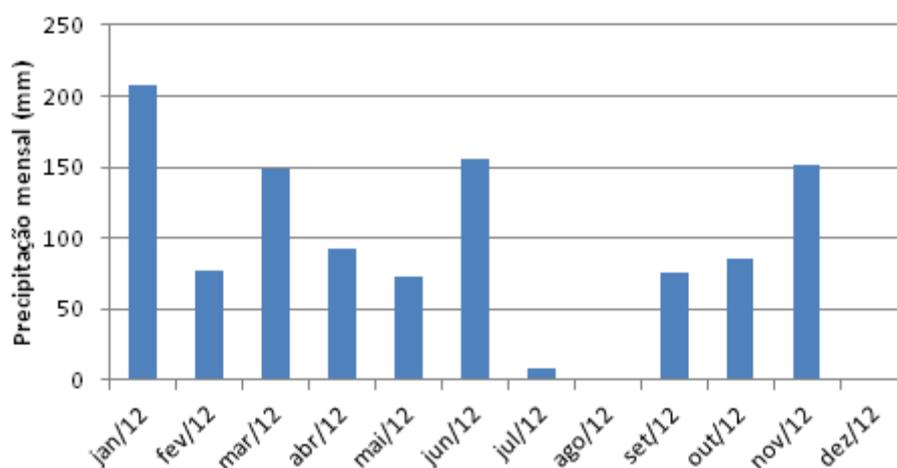


Figura 10. Regime pluviométrico mensal para a região de Catanduva-SP no ano de 2012.

Tabela 1. Ajustes dos dados em função da data de obtenção das imagens dos satélites IRS e CTCSat.

Variedade	Corte	Data da Imagem	CTCSat		NDVI							Média
			09/fev	07/mar	31/mar	24/abr	18/mai	05/jul	22/ago	15/set	09/out	
SP81-3250	3	Meses após corte	4,9	5,8	6,6	7,4	8,2	9,8	11,4	12,2	13,0	
		R ² colmos	0,50	0,04	0,35	0,11	0,15	0,04	0,19	0,27	0,25	0,35
		R ² Biomassa	0,38	0,02	0,25	0,16	0,27	0,05	0,37	0,49	0,47	0,56
RB86-7515	4	Meses após corte	3,9	4,8	5,6	6,4	7,2	8,8	10,4	11,2	12,0	
		R ² colmos	0,36	0,01	-0,04*	0,32	0,24	0,48	0,27	0,27	0,30	0,43
		R ² Biomassa	0,39	0,02	-0,02	0,43	0,34	0,55	0,28	0,34	0,41	0,55
SP81-3250	3	Meses após corte	2,9	3,8	4,6	5,4	6,2	7,8	9,4	10,2	11,0	
		R ² colmos	0,66	0,56	0,58	0,33	0,39	0,06	0,37	0,01	0,11	0,57
		R ² Biomassa	0,58	0,55	0,59	0,33	0,42	0,08	0,37	0,01	0,14	0,57
RB86-7515	3	Meses após corte	2,9	3,8	4,6	5,4	6,2	7,8	9,4	10,2	11,0	
		R ² colmos	0,57	0,71	0,90	0,24	0,00	0,51	0,08	0,19	0,43	0,72
		R ² Biomassa	0,49	0,70	0,93	0,30	0,00	0,52	0,06	0,14	0,39	0,70
Média R ² colmos			0,52	0,33	0,45	0,25	0,19	0,27	0,23	0,18	0,27	0,52
CV (%) R ² colmos			23,71	108,25	88,76	39,74	84,94	94,69	54,25	65,81	48,56	30,95
Média R ² biomassa			0,46	0,32	0,44	0,31	0,26	0,30	0,27	0,24	0,35	0,59
CV (%) R ² biomassa			20,76	108,79	94,21	36,71	70,86	89,77	54,18	88,53	42,10	11,96

* Valores negativos significam correlação inversamente proporcional entre valores de NDVI e de produtividade.

Em três dos quatro locais pesquisados, encontrou-se um melhor ajuste entre os dados de NDVI e de produtividade de colmos para a imagem da data de 31 de março de

2012. No entanto, pelo fato de as biometrias terem sido realizadas apenas no mês de novembro, ainda não se pode concluir se a melhor data para realizar a mensuração é definida em função dos meses após o corte, ou em função da época do ano.

Em três dos quatro locais pesquisados, a data de melhor ajuste dos dados para a produção de colmos correspondeu à data de melhor ajuste para a biomassa. Sendo assim, não se verifica necessidade de realizar a mensuração separadamente.

4.2.1.4 Conclusões

Apesar de terem sido obtidos bons ajuste dos dados de NDVI obtido por imagem de satélite em algumas datas e áreas, tanto do CTCSat, como do IRS, ainda não se pode inferir qual a melhor época de se realizar as mensurações de produtividade em função desses valores de NDVI.

O fato de o valor de NDVI médio de todas as datas ter apresentado boa relação com a produtividade de colmos, possibilita usar esse valor para mapear a variabilidade da produtividade nas áreas, podendo esse valor ser usado futuramente para elaboração de zonas de gerenciamento de adubação diferencial, em função do potencial de extração da cultura.

Para estudos futuros, pretende-se verificar qual a semelhança das imagens obtidas por ambos os satélites, para verificar se compensa adquirir os dados do CTCSat, com maior resolução espacial. Também será sugerido realizar esse mesmo estudo com uma maior quantidade de dados de biometria, em todos os meses da safra, englobando-se mais variedades, mais ambientes de produção, mais anos de cortes, para assim entender melhor o comportamento do NDVI em função da produtividade da cultura. Como o setor de controle de qualidade já realiza biometrias no momento da colheita, seria interessante coletar as coordenadas desses dados via GPS, obtendo-se assim uma grande quantidade de dados.

Também será sugerido realizar um estudo para comparar os valores de NDVI médio das áreas com a produtividade real obtida na área, para verificar se é possível realizar mensurações utilizando esses dados.

4.2.2 Comparativo entre métodos de interpolação de dados

4.2.2.1 Introdução

A interpolação é um procedimento que permite construir um novo conjunto de dados a partir de um conjunto discreto de dados pontuais conhecidos, ou seja, trata-se de um método que possibilita proceder à reconstituição (aproximada) de uma função apenas conhecendo algumas das suas abscissas e respectivas ordenadas (imagens). Assim, em suma, a interpolação constitui-se num método de estimar um parâmetro para o qual não existe informação disponível, considerando-se que os pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais semelhantes do que pontos mais afastados. Segundo Miranda (2005), o processo de interpolação é constituído de duas partes, sendo a primeira a definição de um relacionamento de vizinhança, e o segundo, a definição de qual método calculará os valores desconhecidos.

Inúmeros métodos de interpolação, com diversos níveis de complexidade, estão disponíveis na literatura (Carvalho et al., 2002). Estudos feitos por Kravchenko & Bullock, (1999) demonstram que a ponderação do inverso da distância é mais fácil de se realizar, enquanto a Krigagem consome mais tempo e necessita de uma maior fundamentação teórica para ser aplicada. Por outro lado, a Krigagem faz uma descrição mais acurada da estrutura espacial dos dados e produz valiosa informação sobre a distribuição da estimativa do erro, por ser entendida como uma série de técnicas de análise de regressão que procura minimizar a variância estimada a partir de um modelo prévio, que leva em conta a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço. Entretanto, existem trabalhos que demonstram ser o inverso da distância mais eficiente que a Krigagem. Wollenhaupt et al. (1994), para mapear a disponibilidade de P e K no solo, demonstraram superioridade no método do inverso da distância.

Os métodos de interpolação podem ser geoestatísticos ou convencionais. A Krigagem se baseia no conceito da geoestatística, que leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial. O nível de dependência entre duas variáveis regionalizadas, X e Y, é representado por um variograma (Figura 11), onde:

- **Alcance (a)**: distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. Na Figura anterior, o alcance ocorre próximo de 25m;

- **Patamar (C)**: é o valor do semivariograma correspondente a seu alcance (a). Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as

amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras torna-se invariante com a distância; e

- **Efeito Pepita (C0):** revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte desta descontinuidade pode ser também devida a erros de medição (Isaaks e Srivastava, 1989), mas é impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala não captada pela amostragem.

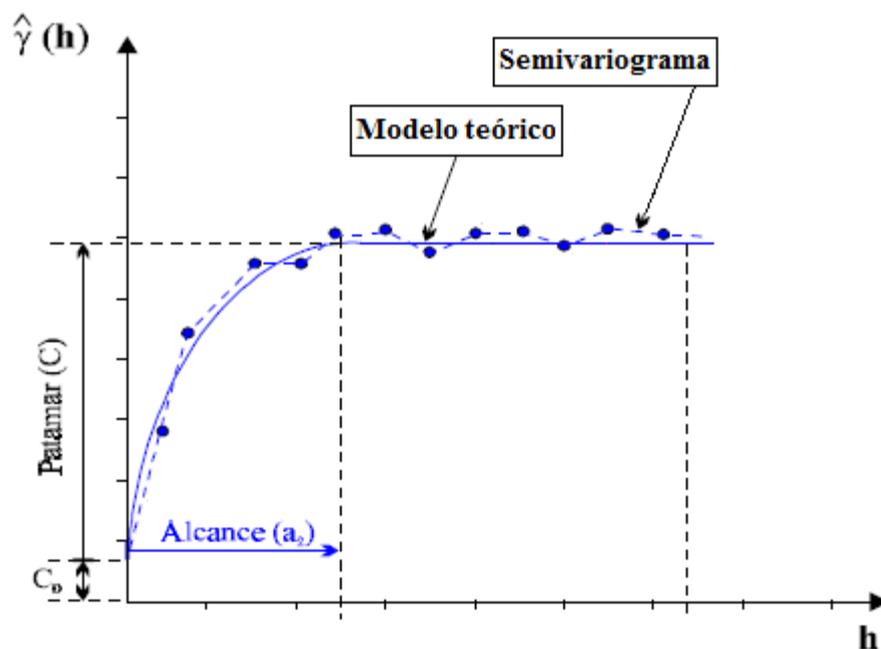


Figura 11. Exemplo de semivariograma.

A Krigagem é fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas, formalizada por Matheron (1971). Uma variável regionalizada é uma função numérica com distribuição espacial, que varia de um ponto a outro com continuidade aparente, mas cujas variações não podem ser representadas por uma função matemática simples. A teoria das variáveis regionalizadas pressupõe que a variação de uma variável pode ser expressa pela soma de três componentes (Burrough, 1987), sendo:

- uma componente estrutural, associada a um valor médio constante ou a uma tendência constante;
- uma componente aleatória, espacialmente correlacionada;

c) um ruído aleatório ou erro residual.

Portanto, baseia-se na estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, no tratamento da redundância dos dados, na vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e no erro associado ao valor estimado.

Já o método do inverso da distância, é um método puramente matemático. Segundo Miranda (2005), este método estima um valor para um local não amostrado como uma média dos valores dos dados dentro de uma vizinhança. O cálculo da média é ponderada pela distância entre o ponto a ser interpolado e seus vizinhos, sendo que o peso da distância é ajustado por um expoente. Isso implica que, quanto maior o expoente, maior será a influência da distância.

Comparativamente, o método da Krigagem tem as vantagens de apresentar uma descrição mais acurada da estrutura espacial dos dados, permite definir o tamanho ideal do domínio ou da janela de estimação, e apresenta uma maior suavização dos dados interpolados. No entanto, consome mais tempo e é mais complicada de se aplicar.

Já o método do inverso da distância é mais simples de ser aplicado. No entanto, tende a formar contornos concêntricos ao redor dos pontos de amostragem ou apresentar um comportamento quadrilateral dos dados interpolados. No caso de dados esparsos possui limitações na representação da variabilidade espacial, pois desconsidera a continuidade do fenômeno que se quer observar.

Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi analisar os resultados da interpolação pelo método da Krigagem e do Inverso da distância, realizada pelo Software Geo Media Professional.

4.2.2.2 Material e métodos

O estudo foi realizado utilizando-se os dados da análise de solo de teores de cálcio (mmol/cm^3) na camada de 0 a 25 cm, realizada numa grade amostral quadrangular de 4 ha por amostra, em uma fazenda da Noble Bioenergia, unidade de Catanduva.

Como o software Geo Media Professional não possibilita a visualização de um semivariograma dos dados, e também não possibilita entrar com os dados de modelo da função, alcance, patamar e efeito pepita, foi utilizada a interpolação sugerida pelo software, o qual ajusta uma função para os dados, e realiza a Krigagem.

Falar como os dados foram analisados. Correlação de Pearson pixel a pixel. Além disso foi analisada a distribuição dos dados interpolados de um método de interpolação para outro, quanto ao percentual de variação que os dados apresentaram.

Também foi analisada se ocorrem diferenças entre os valores dos pixels interpolados nos dois métodos, e os pontos originais de amostragem.

4.2.2.3 Resultados e Discussões

Na Tabela 2, podem ser visualizadas as distribuições dos dados quanto à variação percentual de um método de interpolação para outro.

Tabela 2. Distribuição dos dados quanto à variação percentual de um método de interpolação para outro.

Varição (%)	Número de células	% de células
40 – 50	6	0,06
30 – 40	54	0,54
20 – 30	134	1,35
10 – 20	819	8,24
5 – 10	1905	19,16
0 – 5	7022	70,64
Total	9940	100,00

Nota-se, que em torno de 90 % dos dados variaram de 0 a 10 % na comparação pixel a pixel, ou seja, houve uma variação dos dados de um método para outro. No entanto precisa-se avaliar se essa variação é significativa ou não.

Na Tabela 3, são apresentados os valores da variação média dos valores dos pixels interpolados de ambos os métodos, em relação às amostras originais. Observando-se que em nenhum dos dois métodos de interpolação avaliados, os pixels correspondentes às coordenadas das amostras de solo foram alterados

significativamente, sendo que a variação média para ambos os métodos foi de 0,001 % para ambos os métodos. Esse erro, mesmo que muito baixo, talvez possa ter ocorrido pelo fato de as coordenadas dos pixels interpolados terem uma pequena diferença em relação aos dados originais obtidos nas amostras de solo.

Tabela 3. Variação média dos valores dos pixels interpolados de ambos os métodos, em relação às amostras originais.

Diferença com amostras %		Diferença de coordenadas	
IDW	Krigagem	X	Y
0,001	0,001	4,87	0,76

De acordo com a correlação de Pearson pixel a pixel de 0,9733 encontrada, a qual pode ser considerada como alta, pode se concluir que ambas as interpolações realizadas são bastante semelhantes. Isso também pode se visualizado na Figura 12.

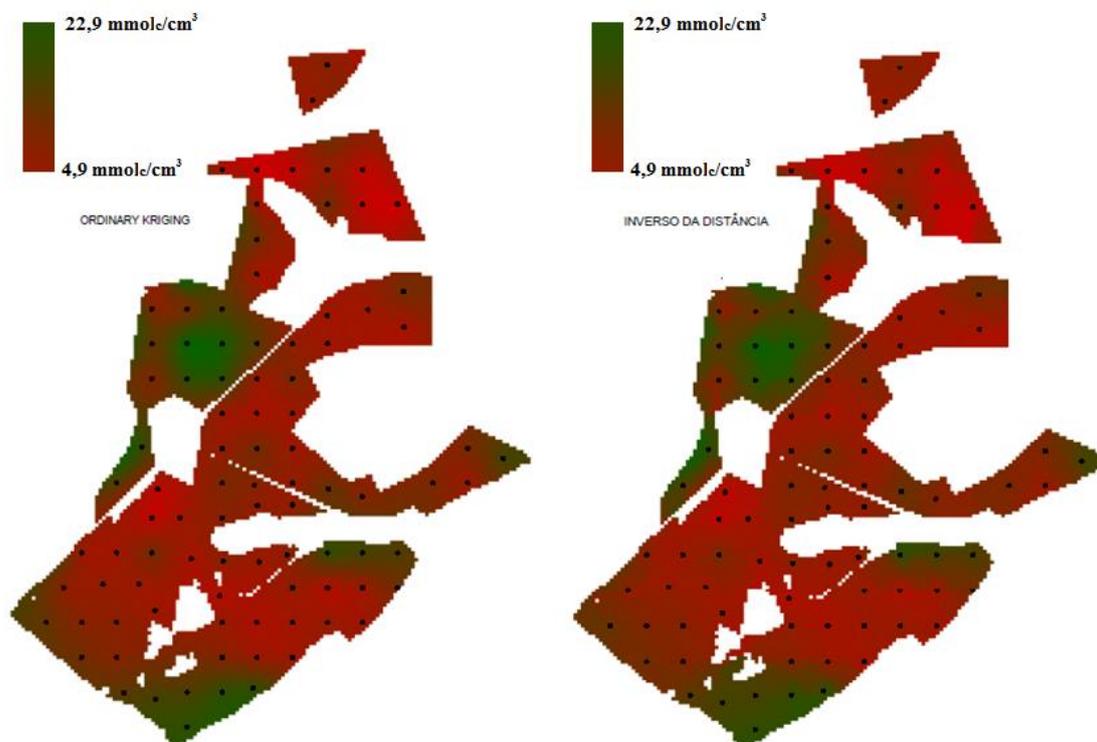


Figura 12. Interpolação dos dados realizada pelo método da Krigagem e pelo método do inverso da distância.

No entanto, analisando se a Figura 13, observa-se uma diferença de suavização dos dados interpolados no método do inverso da distância.

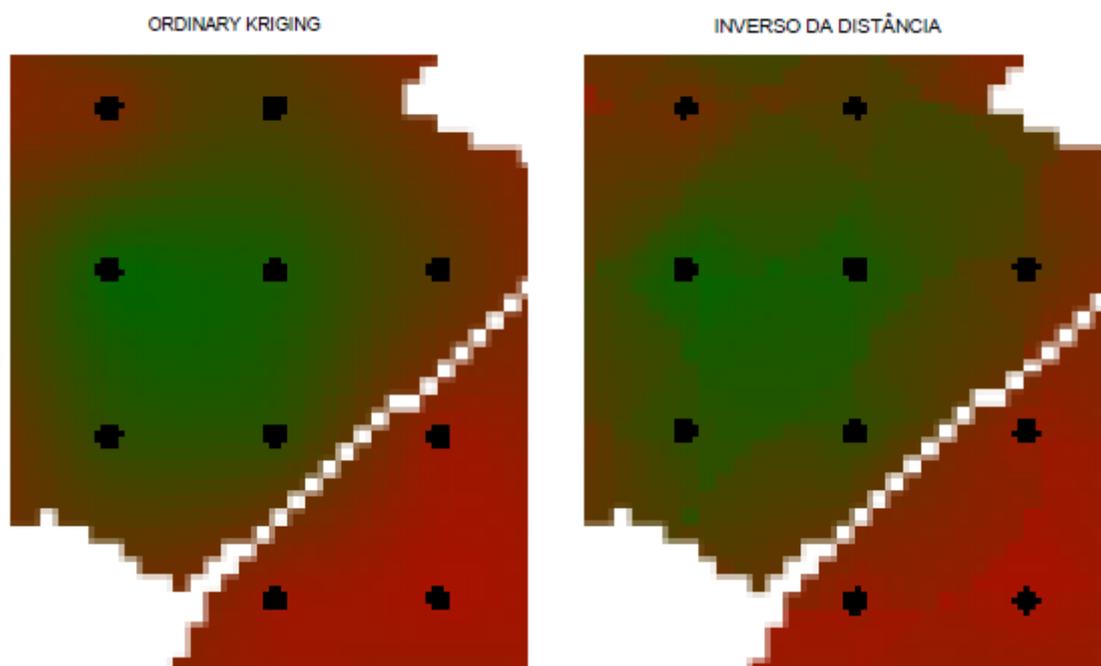


Figura 13. Visualização das diferenças de suavização encontradas nos dois métodos de interpolação.

4.2.2.4 Conclusões

De acordo com os resultados obtidos, pode se concluir que mesmo havendo diferença de um método de interpolação para o outro, mesmo que pequena, precisa-se realizar mais estudos com um software que permita obter e informar os dados de modelo da função, alcance, patamar e efeito pepita, para se ter um maior controle e maior confiabilidade para os resultados do método da krigagem.

4.2.3 Avaliação da vazão de equipamentos

4.2.3.1 Introdução

Com o crescimento da utilização dos conceitos de agricultura de precisão associados à aplicação de insumos a taxas variáveis, surge a necessidade de se avaliar essas máquinas especialmente quanto ao comportamento da sua distribuição transversal como função das contínuas variações das doses de aplicação (MOLIN e MENEGATTI, 2003).

Portanto, esse estudo teve como objetivo avaliar o comportamento de aplicadores de adubos líquidos e pulverizadores de herbicidas, quanto a sua distribuição transversal.

4.2.3.2 Material e métodos

Esse estudo foi realizado, acompanhando-se os responsáveis por realizar o controle de qualidades das operações agrícolas, tendo como objetivo também passar essa metodologia aos mesmos, pois nessas operações esse procedimento ainda não estava sendo realizado. Para verificar a distribuição transversal da aplicação de adubo líquido, foi avaliada a vazão que três aplicadores de adubos fluidos da marca Herbicat, terceirizados para a empresa, apresentam em duas de suas cinco linhas de aplicação. As linhas são espaçadas de 1,5 metros, sendo que o produto é depositado diretamente sobre a soqueira da cultura. Foi calculada a velocidade com que o mesmo estava realizando a aplicação, através da mensuração do tempo que ele necessita para percorrer 50 m.

O mesmo procedimento foi realizado em um pulverizador, também da marca Herbicat, o qual possui largura de trabalho de 18 m e espaçamento entre bicos de 0,25 m. Foi coletada a vazão de um bico, em cada quatro das cinco seções da barra.

Com os valores de vazão e velocidades, obteve-se os valores de dose, em $L\ ha^{-1}$, as quais foram comparadas à dose que foi recomendada e que deveria estar sendo aplicada. Para a adubação líquida, a dose recomendada foi de $1350\ kg\ ha^{-1}$. Para a pulverização de herbicida, a dose recomendada foi de $200\ L\ ha^{-1}$. Ambos os equipamentos estavam equipados com controladores de vazão, da marca Raven.

4.2.3.3 Resultados e Discussões

Analisando-se a Tabela 4, pode-se verificar que ocorre uma grande variação para os equipamentos de aplicação de adubo líquido em relação às doses recomendadas e reais, tanto nos valores médios de cada equipamento, como nos valores ao longo da barra de aplicação de cada equipamento. Isso provavelmente pode ser explicado pela rusticidade do mecanismo distribuidor, o qual é composto por um tubo de PVC, cujo tamanho do orifício é delimitado por uma simples “arruela”.

Tabela 4. Doses de aplicação obtidas para os três aplicadores de adubo líquido.

Frota	Dose (kg ha ⁻¹)			
	esquerda	meio	direita	média
2160	2789,8	-	3703,7	3246,8
Massey	989,3	1809,1	-	1399,2
NH	1174,7	2265,4	-	1720,0

Analisando-se a Tabela 5, pode se verificar que quanto ao pulverizador de herbicida analisado, tanto a distribuição ao longo da barra, como os valores médios da barra, estão muito próximos aos ideais, sendo que a variação não passou de 0,1 %.

Tabela 5. Valores de doses aplicadas obtidas para o pulverizador de herbicida.

	Seção				Média
	1	2	4	5	
Dose (L ha ⁻¹)	199,0	189,8	208,2	202,0	199,7
Variação quanto ao ideal (%)	0,005	0,051	0,041	0,010	0,001

4.2.3.4 Conclusões

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que ainda precisam ser realizadas melhorias na aplicação de adubo líquido antes de se pensar em fazer aplicação em taxa variável. Quanto aos pulverizadores de herbicida, não foi verificado nenhum problema quanto a homogeneidade e variação quanto à dosagem recomendada.

4.3 Outras atividades desenvolvidas

Durante o decorrer do estágio profissionalizante, foram desenvolvidas outras atividades na área de agricultura de precisão. A fim de ter um melhor controle dos equipamentos de agricultura de precisão embarcados em nossa frota, foi realizado um levantamento desses equipamentos. Posteriormente foi elaborada uma listagem, organizando esses equipamentos por operação que realizam, à que frente pertencem, o número de frota e modelo do veículo em que estão embarcados, e descrição desses

equipamentos por marca, modelo, número de série, estado de uso, e finalidade que estão sendo utilizados. Dessa forma, caso surja algum problema nesses equipamentos, têm se todos os dados do mesmo, facilitando o controle e organização dos mesmos.

Também foi realizada uma limpeza e organização da sala que se destina ao armazenamento dos equipamentos utilizados na parte de agricultura de precisão. Nessa sala ficam armazenados os equipamentos quando não são utilizados, e também algumas peças de reposição, para rápida troca em caso de danificação. Foi realizado um levantamento dos itens que já havia na sala, criando-se e cadastrando-se uma posição nos armários, para fácil localização quando necessário.

Também foi realizado um acompanhamento às atividades realizadas pela pessoa responsável pelos Auto Pilots. Foi acompanhado como funciona todo o sistema de uso, a manutenção, os procedimentos de conserto, e as configurações mais frequentes. De maneira geral, os problemas que mais ocorrem com os Auto Pilots, são rompimentos de cabos elétricos, cintilação durante os horários do entardecer, e principalmente desconfiguração por operadores destreinados, que se julgam aptos a manusear os mesmos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implantação de Auto Pilots nas colhedoras, prevista para 2014, juntamente com a implantação das quatro bases de antena GPS e do aumento das bitolas dos transbordos, irão aprimorar o controle de tráfego apenas nas entrelinhas da cultura, o que muito provavelmente acarretará não apenas em acréscimo nos rendimentos produtivos, mas também na longevidade e aumento do tempo médio de renovação dos canais.

Precisam ser realizados ajustes nos equipamentos aplicadores de fertilizantes e corretivos, quanto a homogeneidade de aplicação em taxas fixas, para depois se pensar em fazer as aplicações em taxas variáveis.

O uso de imagens de satélite, mesmo sendo necessários mais estudos, se mostrou uma ferramenta útil na detecção da variabilidade da produtividade e biomassa, podendo ser usada futuramente na elaboração de zonas de manejo diferenciadas. De acordo com

os avanços que forem obtidos nesses trabalhos, poderá se pensar até em realizar a estimativa de safra com essas imagens, que é uma informação muito importante tanto para a indústria, como para o setor financeiro.

O estágio profissionalizante realizado no Grupo Noble permitiu interação com todas etapas do processo produtivo da cana de açúcar, possibilitando além da troca de experiências, aprimorar bastante o conhecimento básico que eu tinha sobre o funcionamento do setor sucro-energético, mais especificamente na parte agrícola.

Todas as experiências adquiridas, tanto nos trabalhos de pesquisa como no acompanhamento às atividades de campo, servirão como uma diretriz para a realização de futuros trabalhos e avanços na área de tecnologia e agricultura de precisão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNER, P.G.M. Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um Cambissolo sob dois sistemas de manejo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, 2007.

BRAMLEY, R.G. V. Lessons from 20 years of Precision Agriculture research, development, and adoption as a guide to its appropriate application. **Crop & Pasture Science**, Collingwood, v. 60, p. 197-217, 2009.

Burrough, P. (1987). *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford, Clarendon Press.

CHEN, J.C.P.; CHOU, C. **Cane Sugar Handbook**. A manual for cane sugar manufacturers and their chemists. 12nd.ed. New York John Wiley & Sons, 1993.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Segundo Levantamento da Safra brasileira 2011/2012 de Cana-de-Açúcar e sua Destinação (açúcar, álcool e outros). Boletim técnico, disponível em <http://www.conab.gov.br/canabweb/download/safra/BoletimCanajaneiro2011-12.pdf>. Acesso em 06 de julho 2012.

GALLO, K. P. & EIDENSHINK, J. C. Differences in visible and near-IR responses, and derived vegetation indices, for the NOAA-9 and NOAA-10 AVHRRs: a case study. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, **54** (4):485-490, 1988.

HIGGINS, A. J.; MUCHOW, R. C. Assessing the potential benefits of alternative cane supply arrangements in the Australian sugar industry. **Agricultural Systems**, Austrália, v. 76, n.2, 623-638, may 2003.

IDSO, S. B.; PINTER Jr., P. J.; JACKSON, R. D. & REGINATO, R. J. Estimation of grain yields by remote sensing of crop senescence rates. *Remote Sensing of Environment*, New York, **9**:87-91, 1980.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. 1989. *Applied geostatistics*. New York: Oxford University Press, 561 p.

JOAQUIM, Antônio Celso. **Identificação de variedades de cana-de-açúcar em três classes texturais de solos, na região de Araraquara - SP, através de análise de nível de cinza em imagens LANDSAT/TM.** 96p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

KRAVCHENKO, A.N. & BULLOCK, D.G. 1999. A comparative study of interpretation methods for mapping properties. *Agron. J.*, 91: 393-400.

MANTELATTO, P. E. **Estudo do processo de cristalização de soluções impuras de sacarose de cana-de-açúcar por resfriamento.** 272 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2005.

MARQUES, M.O.; MARQUES, T.A.; TASSO JÚNIOR, L. C. **Tecnologia do açúcar. Produção e industrialização da cana-de-açúcar.** Jaboticabal-SP: Funep, 2001.

MARTINS, N.G.S. **Os fosfatos na cana-de-açúcar.** 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

Matheron (1963, 1971). *The theory of regionalized variables and its applications*. Paris, Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleu, 1971. 211p.

MATSUOKA, S. Relatório anual do programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar. Araras, UFSCar, CCA, DBV, 2000.

MIRANDA, José Iguelmar. EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas.** Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005.- 425p.

MOGES, S.M. et al. Evaluation of green, red, and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake, and final grain yield. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.27, p. 1431-1441, 2004.

MOLIN, J.P. **Agricultura de Precisão: o gerenciamento da variabilidade.** Piracicaba: O Autor, 2001. 83 p.

MOLIN, J.P. **Agricultura de Precisão: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília: MAPA, ACS, 2009.** Encarte técnico.

Molin, J. P., Menegatti, L. A. A., Desempenho de distribuidores a lanço com doses variáveis de uréia, 2003.

OLIVEIRA, E .C .A. **Balanco nutricional da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada.**2011.213 p. Tese(Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização.** Fundação Cargil, Campinas – SP, v. 1, 1987, 431p.

PIRES, J.L.F.; CUNHA, G.R.; PASINATO, A.; FRANÇA, S.; RAMBO, L. **Discutindo agricultura de precisão:** aspectos gerais. Passo Fundo: EMBRAPA Trigo, 2004. (Documentos, 42). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.htm>. Acesso em: 02 set. 2010.

RAUN, W.R.; SOLIE, J.B. ; JOHNSON, G.V.; STONE, M. L.; LUKINA, E. V.; THOMASON, W.E.; SCHEPERS, J.S. In-season prediction of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, p. 131-138, 2001.

RUDORFF, Bernardo Friedrich Theodor. Dados LANDSAT na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. 114p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1985.

SEGATO, S.V. **Atualização em produção em cana-de-açúcar.** Piracicaba: Livroceres, 2006. 415 p.

STUPIELLO, J.P. A cana-de-açúcar como matéria-prima. In: PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização.** v.2. Campinas: Fundação Cargill, 1987.

UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO - UNICA. Produção de açúcar do Brasil. Disponível em: <http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica>. Acesso: novembro. 2011.

UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO - UNICA. Ranking da produção de cana, açúcar e etanol das unidades da Região Centro-Sul. Disponível em: <http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica>. Acesso: novembro. 2011.

WIEGAND, C. L. & RICHARDSON, A. J. Use of spectral vegetation indices to infer leaf area, evapotranspiration and yield: I. Rationale. *Agron. J.*, **82**(3):623-629, 1990.

WOLLENHAUPT, N.C.; WOLKOWSKI, R.P. & CLAYTON, M.K. 1994. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. *J. Prod. Agric.*, 7: 441-448.