

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA 'LUIZ DE QUEIROZ'**  
**LER – Departamento de Engenharia Rural**  
**Disciplina 0110601 – Estágio Profissionalizante em Engenharia**  
**Agrônoma**

**Agricultura de Precisão e Colheita**  
**Mecanizada em Citros**

Aluno: André Freitas Colaço

Nº USP: 5152378

Orientador: Profº Dr. José Paulo Molin, ESALQ/USP

Supervisor: Dr.Reza Ehsani, University of Florida

Piracicaba – SP

Dezembro, 2008

*Agradecimentos*

*À minha família, Ailton, Lucy, Rafael e Raquel, pelo apoio,*

*À minha namorada, Larissa, pelo companheirismo,*

*Aos esalqueanos, Camila, Diego, Érik, Heitor, Leonardo, Monica e Viviane pela amizade,*

*Aos professores Reza e Molin pela oportunidade e orientação e*

*Aos colegas, Ashish, Joe, Rashida, Raghav, Sadith e Sherry pela receptividade.*

## Índice:

1. Introdução.....	4
2. Revisão Bibliográfica .....	5
2.1. Citricultura .....	5
2.2. Agricultura de Precisão .....	8
2.3. Sensoriamento remoto e utilizações em AP .....	11
2.4. Colheita mecanizada .....	13
2.5. Mapas de produtividade .....	15
3. Pesquisa Realizada: Utilização de um sensor multiespectral e pulverização localizada no controle do psilideo ( <i>Diaphorina citri</i> ) em citros. ....	17
3.1. Introdução .....	17
3.2. Material e Métodos.....	18
3.2.1. Análise de índices de vegetação.....	18
3.2.2. Desempenho do sistema em teste dinâmico e estático.....	20
3.3. Resultados e discussão .....	23
3.3.1. Análise de índices de vegetação.....	23
3.3.2. Desempenho do sistema em teste dinâmico e estático.....	26
3.4. Conclusão .....	29
4. Pesquisas acompanhadas .....	30
4.1. Análise da distribuição de forças em árvore de citros durante a colheita utilizando um máquina agitadora de copa .....	30
4.2. Desenvolvimento de monitor de produtividade para colhedora agitadora de copa .....	31
4.3. Imagens hiperespectrais e espectroscopia utilizadas na detecção da doença greening .....	32
4.4. Outras linhas de pesquisa .....	33
5. Considerações finais.....	33
6. Referências Bibliográficas.....	34

## 1. Introdução

O estágio foi realizado na *University of Florida, Citrus Research and Education Center* (UF-CREC), endereço: 700 Experiment Station Rd. Lake Alfred, FL 33850.

O CREC é responsável pelo desenvolvimento de pesquisas em diversas áreas da citricultura, dentre elas genética, entomologia, horticultura, nematologia, fitopatologia, fisiologia vegetal, pós-colheita, ciência do solo, ervas daninhas, agricultura de precisão e engenharia agrícola. Há também programas oferecidos de pós-graduação e extensão. Essa instituição é a mais antiga e maior estação experimental do *Institute of Food and Agricultural Sciences* da Universidade da Florida (UF-IFAS), e também um dos maiores centros de pesquisa em citros do mundo.

Durante o período do estágio, agosto a dezembro de 2008 foram acompanhados principalmente os projetos existentes nas áreas de agricultura de precisão e colheita mecanizada. Realizou-se também uma pesquisa relacionada às técnicas da agricultura de precisão aplicadas ao controle de pragas em citros e utilização de sensoriamento remoto no manejo da doença “greening”. Outra atividade realizada foi o estudo do uso de sensores e softwares para aquisição de dado, tema abordado na disciplina “Sensors and Data Acquisition”.

O objetivo do atual relatório é descrever os projetos acompanhados, apresentar as pesquisas realizadas e seus resultados, mostrar a experiência e os conhecimentos adquiridos durante o estágio profissionalizante.

## 2. Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica irá descrever a importância da citricultura no panorama mundial, assim como os principais pólos produtores. A citricultura fluminense se difere em diversos aspectos da citricultura paulista. Alguns desses aspectos, como características edafoclimáticas, manejo, fitossanidade, assim como os principais desafios hoje encontrados na citricultura, também serão abordados. Os assuntos: agricultura de precisão, sensoriamento remoto, colheita mecanizada e mapeamento de produtividade, também serão revisados, uma vez que as pesquisas realizadas e acompanhadas durante o estágio pertencem à tais áreas.

### 2.1. Citricultura

A laranja (*Citrus sinensis* L.) é uma das principais espécies cultivadas no mundo, e tem grande destaque no agronegócio, especialmente do Brasil e dos Estados Unidos que são os dois maiores produtores, seguidos pelo México, Índia e China. Segundo dados da “Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação” (FAO, 2007) o Brasil é responsável pela produção de 18,2 milhões de toneladas em área de aproximadamente 800 mil hectares, seguido por 7,3 milhões de toneladas dos EUA em área de 270 mil hectares. Mundialmente foram produzidos em 2007, 63,9 milhões de toneladas de laranja. Em 2005 o Brasil e Estados Unidos foram juntos responsáveis por mais de 80% do suco concentrado de laranja consumido no mundo, sendo 50,2% oriundo do Brasil e 34,6% dos EUA (FAO,2005).

São Paulo é o maior Estado produtor no Brasil, com uma população de árvores de aproximadamente 217 milhões em 566 mil hectares cultivados. O Estado produziu na última safra cerca de 14,7 milhões de toneladas de frutos, o que representa aproximadamente 80% da produção nacional (IEA, 2008). O comércio do suco concentrado gera mais de 1 bilhão US\$ em exportações para o país, dos quais 980 milhões provém do Estado de São Paulo. A comercialização dessa commodity também representou em 2001, o segundo maior produto exportado pelo Estado, atrás somente da exportação de aviões (NEVES, 2001).

Nos EUA, o Estado da Florida lidera a produção de citros com 64 milhões de árvores plantadas concentradas principalmente nas regiões centro e sul. As variedades utilizadas são diversificadas, sendo que 83,6% das árvores são variedades de laranja e 12,6% variedades de grapefruit (FASS, 2007). Segundo o Departamento de Citricultura da Florida (FDOC/USDA, 2008), a produção de laranja no Estado foi de 6.9 milhões de toneladas na última safra (2007/2008). Tal produção é destinada

principalmente a indústria (95,3%) sendo o uso para consumo *in natura* pouco expressivo. Do total de suco concentrado consumido no país, 86% provém da Florida (FDOC/USDA, 2008).

Apesar de não ser líder mundial em produção, os EUA tem os maiores índices de produtividade. O país produz em média 27,2 kg/ha de laranja, já o Brasil 22,8 kg/ha, sendo a média mundial de 16,3 kg/ha (FAO, 2007). Isso é reflexo principalmente do nível tecnológico adotado pelos dois países, dos aspectos socioeconômicos, e também em grande parte, devido às diferentes condições ambientais e técnicas de produção.

Algumas características edafoclimáticas da Florida, juntamente com práticas adequadas de manejo, proporcionam boa adaptabilidade à cultura de citros. O Estado se encontra em baixa latitude no hemisfério norte com clima quente e úmido. Na região central, onde se encontram a maioria das fazendas citrícolas, o solo geralmente apresenta textura extremamente arenosa, pouca fertilidade quimicamente natural, baixa quantidade de matéria orgânica e capacidade de troca de cátions (Alva e Paramasivam, 1998), o que resulta num alto uso de fertilizantes. Nas regiões citrícolas do Estado de São Paulo o solo tipicamente encontrado apresenta alto teor de argila e grande capacidade de retenção de água e nutrientes.

A precipitação anual na Florida é de aproximadamente 1300 a 1400 mm, porém a desuniformidade da distribuição das chuvas ao longo do ano é um dos principais fatores que levam os produtores a adotarem a irrigação (Fares e Alva, 2000). Ao contrário do que se encontra em São Paulo, o uso de irrigação é muito comum nos pomares da Florida. Segundo Yang et al (2002) o citros é uma das culturas irrigadas mais importantes nos EUA. Além disso, a baixa capacidade de retenção de água dos seus solos justifica o uso intensivo dessa técnica. Normalmente o sistema de irrigação utilizado são microaspersores distribuídos na base de cada árvore.

Um fator de extrema importância que afeta significativamente o setor citrícola na Florida, e que não é comum à citricultura paulista, é a ocorrência de furacões. O Estado se encontra numa região do globo bastante propícia ao fenômeno. Os furacões se originam geralmente no Oceano Atlântico e seguem em direção ao sul da Florida, Golfo do México ou atingem diretamente os Estados sulistas dos EUA, da Florida e Texas. Normalmente ocorrem durante os meses de julho a novembro. Os pomares citrícolas podem ser severamente afetados por esse fenômeno, gerando danos que se prolongam por mais de uma safra, além de afetar conseqüentemente a oferta e os preços do suco de laranja ao redor do mundo.

Além de danos diretos à planta como queda de frutos, quebra de galhos e danos gerais à estrutura da árvore, os furacões podem causar inundações nas regiões

costeiras, baixadas de rios e lagos, o que pode danificar seriamente as raízes das árvores (Albrigo et al. 2005). Diversos autores citados por Gottwald e Irey (2007) associam furacões e tempestades tropicais à disseminação em longas distâncias de doenças como o cancro cítrico. Os danos normalmente persistem nas próximas safras, reduzindo emissão floral, formação de frutos e conseqüentemente reduzindo a produção (Albrigo et al. 2005). A freqüente incidência de furacões na região leva os produtores e pesquisadores a desenvolverem uma série de técnicas preventivas e de recuperação dos pomares que englobam práticas especiais do manejo fitossanitário e nutrição.

Salvastore et al. (2005) consideram a temporada de furacões de 2004 a mais devastadora da história da citricultura fluminense. Neste ano três furacões passaram diretamente na região central do Estado resultando em bilhões de dólares em prejuízos às propriedades privadas e uma redução de 44% da produção entre as safras 2003/2004 e 2006/2007 (USDA/FASS, 2007).

Outro fator que deve ser caracterizado ao se analisar os aspectos produtivos da cultura da laranja na Florida, é a ocorrência de doenças. O Departamento de Citricultura da Florida considera como as doenças mais importantes atualmente o cancro cítrico asiático (*Xanthomonas axonopodis* pv. citri) e o huanglongbing (HLB) ou greening (*Candidatus liberibacter* ssp) (FDOC, 2008).

O cancro cítrico é encontrado nos principais pólos produtores mundiais, nos Continentes Asiático, Oceânico, e Americano. A bactéria causadora da doença, *Xanthomonas axonopodis* pv. Citri, foi introduzida na Florida no início do século passado, e foi considerada erradicada algumas vezes por vários autores citados por Gottwald et al. (2001), mas sempre novos focos da doença foram encontrados. Estima-se que a última introdução da doença ocorreu em 1993 e no ano seguinte novos focos de infecção foram encontrados na costa oeste do Estado. A disseminação do cancro moveu órgãos governamentais a adotarem severas barreiras sanitárias no país assim como programas de erradicação da doença. Tais programas resultaram na destruição de quase 7 milhões de árvores comerciais e mais de 4 milhões de mudas (Irey et al., 2006). A redução de produção no Estado foi mensurada em 20% para as variedades de grapefruit e 5% para valência entre as safras de 1993/1994 e 2003/2004 (FDOC, 2008).

Apesar dos prejuízos causados pelo cancro cítrico, a atenção dos produtores e pesquisadores se voltou nos últimos anos à algo que tem ameaçado tanto a indústria cítrica americana quanto a brasileira. A doença huanglongbing (HLB) ou greening é a doença mais grave que tem afetado os pomares desde 2004 em São Paulo (Teixeira et al., 2005, ver relatório) e 2005 na Florida (Chung and Brlansky, 2005 ver relatório).

O HLB é causado pela bactéria *Candidatus Liberibacter* que atua de maneira sistêmica na planta, comprometendo o sistema vascular (Schneider, 1986, ver relatório). Necroses no floema fazem com que grânulos de amidos fiquem acumulados nas folhas resultando nos primeiros sintomas visíveis da doença. Inicialmente ramos da planta apresentam folhas com manchas amareladas e assimétricas na face superior (Capoor et al. 1974, ver relatório). Além de sintomas nas folhas, plantas infectadas apresentam frutos com tamanho reduzido e deformados. Em estágios avançados da doença a planta é levada à morte, e não há até então cura contra esse mal. As medidas de controle são basicamente a eliminação das árvores infectadas e controle do inseto vetor da doença, o psilídeo (*Diaphorina citri*).

O HLB tem sido responsável por inúmeras perdas de árvores e conseqüentemente de produção. Segundo a Associação Brasileira de Citricultores 3 milhões de árvores foram arrancadas no Estado de São Paulo nos últimos 4 anos e mais 2 milhões de árvores estão previstas a serem eliminadas em 2008 (ASSOCITRUS, 2008, ver relatório). No Estado da Florida a doença também está largamente disseminada e é encontrada em 36 condados produtores de laranja (Morris e Muraro, 2008).

A gravidade dos danos gerados pelo greening e pelo cancro cítrico tem movido o setor citrícola americano a incentivar pesquisas em diversas áreas, mas principalmente em melhoramento genético, nutrição e manejo integrado de pragas. O Departamento de Citricultura da Florida reuniu esforços tanto da indústria quanto do setor acadêmico, de aproximadamente 30 milhões de dólares, 60 cientistas e mais de 180 projetos destinados especialmente ao combate dessas duas doenças (FDOC, 2008).

## 2.2. Agricultura de Precisão

Devido aos desafios hoje encontrados na citricultura e à grande competitividade existente no setor, a demanda por pesquisas e novas tecnologias é cada vez maior. Sendo assim, pesquisas em diversas áreas do conhecimento agrônomo vêm sendo desenvolvidas. Dentre as novas tecnologias em destaque na citricultura no Brasil e principalmente nos EUA tem-se a Agricultura de Precisão (AP).

Segundo Molin (2004, ver plano), AP é um conjunto de tecnologias e procedimentos utilizados para otimizar sistemas de produção agrícolas, e é embasado principalmente no gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores responsáveis por ela. Whelan e McBratney (2000, ver relatório), descrevem AP como

a adaptação das práticas agronômicas às demandas do solo e da cultura de acordo com a sua variabilidade espacial. Os autores afirmam que uma das principais ferramentas para se alcançar tal objetivo é a técnica de aplicação localizada de insumos ou SSCM (Site-Specific Crop Management). De maneira simplificada Tschiedel e Ferreira (2002) explicam a AP como uma filosofia de manejo que considera a heterogeneidade existente num ambiente produtivo. “Os insumos são aplicados no local correto e na quantidade correta”. Os mesmos autores listam uma série de benefícios oriundos da adoção das técnicas de AP. Dentre elas, a redução de custos de produção, ganhos em produtividade e maior confiabilidade nas decisões de manejo. De acordo com Goering (1992, ver plano), a AP vem sendo utilizada não só pelas vantagens citadas anteriormente, mas também pelos benefícios ambientais devidos à diminuição dos excessos dos insumos liberados aos ecossistemas.

A agricultura de precisão teve origem após o uso do GPS (Sistema de Posicionamento Global) ter sido liberado para aplicações civis. Segundo Saraiva (2000), citado por Emmerich et al. (2005), isso se deu no início da década de 90. A partir de então diversas aplicações para a agricultura foram desenvolvidas, dentre elas tem-se principalmente a taxa variada de aplicação de insumos, mapeamento da produtividade e sistemas guia para tratores como “barras de luzes” e piloto automático. No Brasil esse pacote tecnológico vem sendo utilizado principalmente em culturas altamente tecnificadas como culturas extensivas de grão, cana de açúcar e culturas perenes como café e laranja. A taxa variada de aplicação é, sobretudo, uma das técnicas mais utilizadas em sistemas que começam a implantar as técnicas da AP, isso porque normalmente apresenta resultados imediatos em relação à economia de insumos, o que viabiliza investimentos realizados em máquinas e equipamentos (Menegatti, 2004).

Dragone (2003), citado por Mascarin (2006, ver plano), relata que a citricultura tem buscado novas soluções de gerenciamento e administração da produção de forma a aumentar a eficiência dos processos produtivos. Por esse aspecto, a AP supri perfeitamente tal necessidade. Algumas das pesquisas fomentadas para a citricultura brasileira são: o mapeamento da variabilidade espacial do solo, mapas de produtividade, aplicação a taxa variada de corretivos e fertilizantes, e uso de piloto automático para sulcação e plantio de mudas. Porém, mesmo com grandes benefícios observados em outras culturas, de maneira geral, a adoção da agricultura de precisão na citricultura é ainda discreta, mas não deixa de ser uma tendência para o setor.

Nos EUA as técnicas de AP também têm sido incentivadas entre os citricultores. Whitney et al. (1999) relatam que até então não havia nenhuma aplicação da AP nos pomares citrícolas da Florida, mesmo sendo essas técnicas já utilizadas em outras

culturas. Entretanto, dado o grande valor econômico do citros e também à vulnerabilidade ambiental e fitossanitária da cultura, a AP se tornou uma tecnologia com grande potencial de uso na citricultura. Dessa forma, Whitney et al. (1999) propuseram um projeto para uso da AP na citricultura da Florida. Tal projeto englobou diversas aplicações da AP como mapeamento da produtividade em sistemas de colheita manuais, desenvolvimento de sistema de localização de árvores, medição de tamanho e volume de copa e uso de GPS e Sistema de Informação Geográfica (SIG) em aplicação de fertilizantes e defensivos à taxa variada e monitoramento de operações mecanizadas. Sevier e Lee (2005), em entrevista com citricultores da Florida, constataram que as práticas mais adotadas são o mapeamento da variabilidade espacial do solo e intervenção a taxa variada.

A aplicação localizada de insumos tem sido amplamente estudada e aperfeiçoada para utilização na cultura do citros na Florida. Tal técnica é foco dos estudos de Miller et al. (2003a), Miller et al (2003b) e Schumann et al. (2005) que adaptaram a taxa variada de aplicação, ou VRT (variable rate technology), utilizado originalmente em outras culturas, às características de um pomar citrícola. De maneira generalizada, essa nova forma de aplicação de insumos funciona basicamente utilizando ferramentas capazes de reconhecer e localizar a variabilidade espacial, seja ela do solo, de características das plantas, ou de condições ambientais. O levantamento de informações pode ser realizado a partir de coleta de amostras ou indiretamente com o uso de sensores. Além disso, também é necessário um sistema mecanizado capaz de localizar e distribuir os insumos de acordo com a variabilidade espacial encontrada. O uso do GPS se dá tanto para a obtenção de coordenadas para os dados coletados, quanto posteriormente para a localização no campo do conjunto mecanizado, de forma que a ação de manejo seja implementada no local correto.

A utilização da taxa variada tem sido observada principalmente na aplicação de fertilizantes granulares, mas o conceito pode ser extrapolado a qualquer outro insumo como, por exemplo, herbicidas, inseticidas, produtos fitossanitários ou mesmo água. Tumbo et al. (2006) avaliaram um controlador para aplicação de nematicidas em infestações em reboleiras em pomares de citros. Chang et al. (2006) avaliaram a tecnologia VRT para o manejo de doenças em citros. Ambos os trabalhos objetivaram a redução do impacto ambiental causado pelo excesso de defensivos. Tal linha de pesquisa tem extrema importância principalmente na Florida onde os solos apresentam textura arenosa, o que propicia a lixiviação de poluentes até os lençóis freáticos.

Algumas práticas da agricultura de precisão podem ser consideradas peculiares à citricultura, ou às culturas arbóreas perenes. Uma delas é o mapeamento do

tamanho e volume de copa. Tal informação pode ser utilizada em práticas de manejo e na tomada de decisões como, por exemplo, no cálculo de volume de calda a ser utilizado em aplicações fitossanitárias, quantidade de fertilizantes e defensivos ou predição de produtividade (Lee, 2008). Normalmente o volume da copa é calculado manualmente, o que pode ser custoso e trabalhoso. Ehsani & Lang (2002), Wei & Salyani (2004), Wei Salyani (2005) citados por Lee (2008) estudaram e desenvolveram sensores a laser capazes de mensurar, através de algoritmos específicos, as dimensões e volume da copa. Lee (2008) relata grande acurácia desse tipo de sensor se comparado à medição realizada manualmente.

### *2.3. Sensoriamento remoto e utilizações em AP*

A agricultura de precisão se utiliza de maneira conjunta aos conhecimentos fitotécnicos, outras disciplinas como mecanização agrícola e sensoriamento remoto. Molin (1997) descreve o sensoriamento remoto como a aquisição de dados a distancia, ou sem que haja contato físico com a amostra. Normalmente são medições indiretas de aspectos agronômicos, realizadas por sensores. Uma aplicação comum dessa tecnologia na agricultura é o uso imagens aéreas como meio de obter informações das culturas. A interpretação das imagens aéreas ou de satélites pode ser útil na estimativa de área plantada e conseqüentemente estimativa de safra (Luiz e Epiphanyo, 2001, Epiphanyo et al. 2002). Já para agricultura de precisão, especialmente em aplicação a taxa variada, as imagens aéreas não são tão populares devido ao alto custo de obtenção e também pela baixa resolução da informação (Molin, 1997). Nesse caso o sensoriamento remoto tem sido utilizado por meio de sensores instalados em bases terrestres como tratores ou veículos autopropelidos. Tais sensores são capazes de coletar uma grande quantidade de dados do campo, algo altamente desejado em agricultura de precisão.

As características espectrais de objetos como o solo ou o dossel vegetativo podem se relacionar a diversos fatores agronômicos importantes ao manejo, como estatus de nitrogênio (N) foliar e outros nutrientes, stress hídrico, ataque de pragas e doenças, etc. Oppelt (2002) citado por Gröll (2008), afirma que o desenvolvimento de espectrômetros possibilitou o acesso às características espectrais das culturas que estão relacionadas além dos fatores anteriormente citados, também à área foliar, biomassa e características bioquímicas das folhas. Tais parâmetros podem ser medidos nas escalas de uma única folha, com espectrômetros localizados em bases terrestres, ou então do dossel vegetativo, com leituras realizadas em bases aéreas.

Além de parâmetros das plantas, características do solo também podem ser determinadas através do seu comportamento espectral. Ehsani et al. (1999) relatam que a refletância do solo nos comprimentos de onda de 1800 a 2300nm podem ser utilizados da detecção do conteúdo de nitrato no solo.

Comercialmente, já estão disponíveis alguns sensores utilizados no manejo da adubação nitrogenada a partir da concentração de N foliar medida no dossel vegetativo. Tais equipamentos funcionam emitindo luz em determinados comprimentos de onda (visível e infravermelho próximo) e medindo a quantidade da luz que é refletida pela planta. Os valores de refletância são convertidos em um índice de vegetação que é relacionado à concentração de N foliar. Povh et al (2008) avaliaram um sensor óptico ativo comercial, o Greenseeker Hand Held, e relataram boa eficiência do índice vegetativo NDVI (Normalized Differential Vegetation Index) para utilização nas culturas do trigo, triticale e cevada, mas baixo potencial para o milho. Colaço et al. (2007) também testaram o mesmo sensor em algodão e em diferentes condições de iluminação. Os autores verificaram boa potencialidade de uso do equipamento na cultura, porém a performance do instrumento em diferentes condições de iluminação não se mostrou adequada.

Na cultura do citros, o manejo de nitrogênio pelo uso de sensores também tem sido pesquisado, porém não há ainda nenhum sensor comercialmente disponível. Min e Lee (2003) estudaram quais comprimentos de onda são adequados para a detecção da concentração de N foliar em citros, e detectaram 707nm e 2194nm como bandas promissoras a tal propósito. Posteriormente em 2006, os mesmos autores, desenvolveram um sensor multiespectral, utilizando as bandas de 620 a 950nm e 1400 a 2450nm, para a detecção de N em folhas de citros.

A refletância das culturas nas bandas visíveis (400 a 700nm) e no infravermelho próximo (760 a 1300nm) também tem sido largamente estudada pelo setor acadêmico no sentido de detectar o estado patológico das plantas (Gröll, 2008) (Matsuo et al. 2006). Em plantas saudáveis, na região do visível, as porções azul e vermelho do espectro são mais absorvidas pelos pigmentos clorofilados, já a porção verde é mais refletida, resultando no aspecto naturalmente verde de uma planta sadia. Na região do infravermelho próximo a radiação também é altamente refletida devido à estrutura interna das folhas. Porém, as plantas afetadas por doenças apresentam menor reflexão na região verde e no infravermelho próximo “o que proporciona contraste na resposta espectral em relação às saudáveis” (Santos Jr. et al. 2002).

Tais técnicas também apresentam aplicações no manejo de doenças em citros como o HLB. Mishra et al. (2007), por meio de um espectraloradiômetro e imagens hiperespectrais observaram picos de refletância em plantas infectadas na região do

espectro entre 530 e 564nm, 710 e 715nm e nos comprimentos de onda 1041nm e 2014nm. Os autores relatam grande aplicabilidade de tal tecnologia nas lavouras citrícolas, uma vez que esse método pode detectar plantas doentes em estágio inicial da infecção. Fletcher et al. (2004, ver notepad) conseguiram distinguir plantas contaminadas com gomose (*Phytophthora parasitica* Dast) utilizando um espectrorradiômetro portátil e calculando índices resultantes das razões entre as bandas do infravermelho próximo e azul, infravermelho próximo e vermelho e infravermelho próximo e infravermelho.

#### 2.4. Colheita mecanizada

No Estado da Flórida o alto custo da mão-de-obra na colheita proporcionou o pioneirismo nas pesquisas voltadas à colheita mecanizada. O desenvolvimento das primeiras colhedoras se iniciou em meados da década de 50 por esforços do Departamento de Citricultura de Florida e do USDA (United States Department of Agriculture). O objetivo desse projeto foi aumentar a produtividade dos colhedores, e reduzir a quantidade de trabalhadores requeridos para a colheita (Hyman et al. 2007). Nas décadas seguintes as pesquisas se voltaram tanto para desenvolvimento de técnicas de colheita mecânica de laranjas para consumo *in natura*, quanto principalmente para o desenvolvimento de colhedoras de laranjas destinadas ao processamento. Na década de 80 repedidas geadas reduziram a área plantada de citros no Estado da Flórida, o que conseqüentemente reduziu a demanda por projetos relacionados à colheita mecanizada.

Nos anos 90 as pesquisas na área foram novamente retomadas e colhedoras foram disponibilizadas no mercado. Atualmente o uso desses equipamentos já é uma realidade encontrada nos pomares comerciais flordenses, mesmo tendo ainda grande significância a colheita manual (Roka e Longworth, 2003). Roka (2007) relatou cerca de 12.000 hectares foram colhidos mecanicamente na safra 2005/2006 o que corresponde a menos de 5% da área plantada com laranjas para processamento. Hyman et al (2007) alega que os custos de colheita podem ser reduzidos à menos de um dólar por caixa, porém algumas adaptações iniciais do pomar como poda dos ramos inferiores (“levantamento de saia”), ramos laterais e limpeza de ruas podem custar de 120,00 a US\$ 250,00 por hectare (Roka, 2007). No Brasil, recentemente foi lançado a primeira colhedora nacional de citros, e se encontra em fase de testes pelos grandes produtores.

Mascarin (2006) descreve os principais métodos de colheita e classifica-os em três tipos: manual, semi-mecanizado e mecanizado. O método manual é aquele encontrado amplamente no Estado de São Paulo e em pomares destinados ao comércio *in natura*. O método semi-mecanizado consiste na derrça mecanizada e recolhimento manual. Já na colheita mecanizada tanto a derrça quanto o recolhimento é feito por máquinas automotrizes.

Nos Estados Unidos dois tipos de colhedoras são utilizadas, as agitadoras de copa e agitadoras de tronco, que podem realizar apenas a derrça ou então a derrça e o recolhimento. O tipo mais comumente utilizado são as agitadoras de copa, sendo que as agitadoras de tronco colheram apenas cerca de 15% da área colhida mecanicamente na safra de 2006/2007 (Hyman et al. 2007). A principal diferença entre essas máquinas é que a agitadora de copa trabalha continuamente ao longo das árvores, já a agitadora de tronco deve parar em cada árvore e agitá-las por alguns segundos, o que reduz a sua capacidade operacional. Whitney (1999, ver plano) avaliou os dois tipos de máquinas e também uma plataforma recolhadora de frutos derrçados. A máquina agitadora de copa deve se deslocar ao longo de um lado das plantas a velocidade de 1,2 a 2,4 km/h e a eficiência de derrça varia de acordo com o tamanho das copas. 55% dos frutos foram derrçados nas árvores com grande diâmetro de copa, e 95% nas árvores menores. Já o agitador de tronco deve agitar por até 10s cada árvore, atingindo até 94% de frutos derrçados. Na avaliação da plataforma recolhadora observou-se perdas por frutos deixados no chão e por esmagamento de até 7%.

Peterson (1998 ver plano) desenvolveu e testou um protótipo de colhedora agitadora-recolhedora, ressaltando a sua alta capacidade de trabalho e qualidade do fruto recebido nas unidades processadoras semelhante à do fruto colhido manualmente. Recentemente Bora et al. (2006)(a) testaram uma recolhadora de frutos comercial em pomares na Florida, e obtiveram altos índices de capacidade operacional, eficiência de recolhimento de 80 a 97% dos frutos e poucos danos quando comparado ao recolhimento manual.

Além das pesquisas no desenvolvimento de protótipos, também existem diversos estudos no uso de produtos químicos promotores de maturação da laranja, o que facilita a queda do fruto e aumenta a eficiência e capacidade operacional das colhedoras (Roka et al., 2008) (KOO et al., 1999). Como os danos às plantas pelas colhedoras afetam processos fisiológicos e futuras produções, estas também são áreas de grande interesse pela comunidade acadêmica (Buker et al., 2004) (Zekri e Syversten, 2008).

## 2.5. Mapas de produtividade

Um seguimento da pesquisa que tem se destacado, principalmente devido às demandas geradas pela agricultura de precisão, é o desenvolvimento de monitores de produtividade capazes de gerar mapas de produtividade a partir de dados obtidos nas colhedoras, algo que ainda não se encontra disponível no mercado americano. A geração de mapas de produtividade ou mapas de solo tem essencial importância num sistema que utiliza AP num sentido mais amplo, pois é daí que se extrai a informação completa da resposta da cultura ao manejo adotado. Tais informações serão utilizadas em decisões agrônômicas como, por exemplo, na verificação de manchas de produtividade, na delimitação de zonas homogêneas ou “zonas de manejo”, no cálculo de uso de fertilizantes, ou mesmo gerando um histórico de dados de produtividade. As informações de produtividade visualizadas de maneira especializada permitem a investigação dos fatores de produção responsáveis pela variabilidade, como por exemplo, a fertilidade e tipo de solo de solo, declividade e armazenamento de água, ocorrência de doenças, etc.

No Brasil alguns entraves são encontrados na geração de mapas de produtividade, uma vez que a colheita é totalmente manual. Mascarin (2006) propõem um método de geração dos mapas adaptado ao sistema de colheita encontrado em São Paulo. Este método se baseia no georeferenciamento dos sacolões utilizados na colheita e geração de pontos de produtividade de acordo com o volume e área de representação dos mesmos. Colaço et al. (2008) testaram e validaram tal método evidenciando a sua capacidade em revelar manchas de produtividade relacionadas à ocorrência de doenças como declínio dos citros e HLB (Huanglongbing, ou ex-greening). Shueller et al. (1999) realizaram mapas de maneira similar, georeferenciando no campo os contêineres utilizados na colheita manual em um pomar comercial na Florida. Os autores alegam o baixo custo da geração dos mapas e confiabilidade das informações. Farias et al (2003) criaram mapas de produtividade a partir de coleta de amostras de frutas em 101 plantas em uma quadra localizada em São Paulo. Posteriormente os dados foram interpolados a partir de técnicas geoestatísticas e estudando a dependência espacial entre as amostras de forma a gerar a superfície de um mapa, onde todos os seus pontos apresentam valores de produtividade.

Um meio mais eficiente de gerar mapas de produtividade é através do uso de sensores, ou monitores de produtividade. Tais equipamentos são instalados nas colhedoras e medem quantidade de produto colhido, que atrelados a coordenadas geográficas, formam o mapa de produtividade. Os mapas são gerados

automaticamente e apresentam alto nível de detalhamento se comparado aos mapas gerados sem o auxílio desse equipamento. Essa tecnologia vem sendo grandemente utilizada em culturas de grão e cereais. O desenvolvimento dos monitores se iniciou na década de 80, baseado na tecnologia de medição de fluxo em armazéns e indústrias processadoras de grãos (Molin, 2000). Nas colhedoras de grãos, os sensores de fluxo medem o volume do produto colhido transportado no elevador de grãos. Em outras culturas como café e cana-de-açúcar os sensores mais comuns medem massa do produto colhido através de células de carga instaladas também no elevador das máquinas.

Na citricultura, são encontrados poucos estudos relativos a monitores de produtividade desenvolvidos para as colhedoras. Mas algumas tecnologias tem sido adaptadas especialmente às características dessa cultura, e diferentes métodos de coleta de dados tem sido pesquisados. Tumbo et al. (2002) desenvolveram um monitor de produtividade adaptado à colheita manual, que registra as coordenadas e a massa dos contêineres no campo antes dos mesmos serem depositados nos transbordos. Bora et al. (2006, ver plano)(b) testaram sensores de fluxo de massa em condições controladas para aquisição de dados. Esse tipo de sensor se mostrou adequado para coleta de dados em citros dado à acurácia da informação gerada. Utilizando visão artificial, Annamalai e Lee (2003, ver plano) criaram um algoritmo capaz de determinar número de frutos a partir de imagens da cultura. O sistema é composto pelo algoritmo, um GPS, um dispositivo medidor de distancia e visão artificial instalada na colhedora, e registra as estimativas de produtividade que serão armazenadas e formarão o mapa de produtividade. Kane e Lee (2007) utilizaram imagens na banda do infravermelho próximo para a detecção de frutos nas árvores de citros. O processamento da imagem pode de gerar mapas de produtividade bastante detalhados, mas alguns fatores são limitantes no uso dessa técnica. Frutos posicionados no interior da copa ou podem não ser visíveis à câmera e frutos agrupados tornam difícil a contagem exata do numero de laranjas pelo sistema processador de imagens.

### **3. Pesquisa Realizada: Utilização de um sensor multiespectral e pulverização localizada no controle do psilídeo (*Diaphorina citri*) em citros.**

Resumo: A doença conhecida como huanglongbing (HLB) ou greening é considerada o mais importante mal à citricultura em todo o mundo. O manejo do HLB se baseia na eliminação de árvores infectadas e controle do inseto vetor da doença, o psilídeo (*Diaphorina citri*). Tal inseto se alimenta principalmente nas folhas novas da planta, o que possibilitaria a aplicação de defensivos apenas nesses locais da copa. Dessa forma, através de medições de refletância em quatro comprimentos de onda, testou-se um sensor multiespectral e diversos índices de vegetação no sentido de distinguir os ramos juvenis dos maduros em copas de árvores de citros em três variedades. De acordo com os testes estatísticos Tukey e “Least Square Difference”, o índice “Green” (G) foi o único capaz de distinguir os ramos novos dos maduros a 99% de confiabilidade e nas três variedades estudadas.

Realizou-se também um experimento em condições controladas em laboratório para avaliar o desempenho de um sistema de pulverização localizada automática em testes dinâmicos e estáticos. Observou-se boa performance do sensor em distinguir as folhas novas em movimento. Os testes estáticos revelaram a importância do posicionamento e ângulo de visada do sensor em relação às folhas.

#### **3.1. Introdução**

Muitos aspectos do manejo do greening são custosos tanto pela perda de produção quanto pelo aumento do custo de produção. Um dos grandes fatores responsáveis pelo aumento do custo de produção é a intensa aplicação de inseticidas para o controle do vetor da doença o inseto *Diaphorina citri*, ou psilídeo.

Diversos autores recomendam diferentes manejos da aplicação de produtos químicos. Segundo Roistacher (1996), em período de emissão de novas brotações são necessárias de dez a treze pulverizações por ano. Su et al. (1986) alegam que as pulverizações podem ser feitas em intervalos de dez dias de acordo com a população do inseto ou até semanalmente em árvores novas (Gonzales e Viña, 1981).

No Brasil 24 aplicações por ano podem ser necessárias nas árvores novas e 12 em árvores maduras (Morris e Muraro, 2008). Em estudos conduzidos nas lavouras da Florida Morris e Muraro (2008) calcularam o custo do manejo contra o greening, e constataram um aumento de 41% no custo, o equivalente à US\$ 945,00 por hectare, dos quais US\$ 720,00 são referentes à aplicação de inseticidas contra o psilídeo. Sabe-se que esse inseto se alimenta principalmente nas partes novas da planta como

novas brotações (Halbert e Manjunath, 2004), porém as aplicações de produtos químicos são realizadas em toda a árvore, o que torna alto o custo da pulverização e também aumenta o impacto ambiental devido aos resíduos químicos liberados ao ambiente e à eliminação de insetos benéficos à produção.

Dessa forma, baseado nas técnicas da agricultura de precisão e do sensoriamento remoto desenvolveu-se um sistema para aplicação localizada de pesticidas, capaz de reconhecer novas brotações através do seu comportamento espectral, e pulverizar o produto químico apenas nesse local. Tal tecnologia reduziria grandemente a quantidade de insumo utilizado o que resultaria numa produção mais sustentável econômica e ambientalmente.

O objetivo principal do trabalho é avaliar um sensor multiespectral e diversos índices de vegetação, no sentido de detectar qual índice é capaz de diferenciar ramos juvenis de ramos maduros em três variedades de citros: Hamlin, Valência e Grape Fruit. O segundo objetivo é observar o desempenho do sensor em reconhecer um ramo juvenil em uma árvore de citros em experimentos dinâmicos e estáticos.

## 3.2. Material e Métodos

### 3.2.1. Análise de índices de vegetação

Para a obtenção dos dados de refletância utilizou-se um sensor óptico ativo multiespectral desenvolvido pela Applied Technology para fins experimentais. O sensor é composto por quatro fontes de luz em quatro comprimentos de onda, dois na banda visível (570nm e 670nm) e dois na banda do infravermelho próximo (870nm e 970nm), ver figura 1. Ao atingir o alvo a luz é refletida e captada por um receptor localizado no centro no aparelho, gerando automaticamente os valores de refletância referentes a cada um dos quatro comprimentos de onda. Através de porta serial, o sensor interage com um PDA onde será salvo e visualizado os dados de refletância.



Figura 1: Sensor multiespectral conectado a um palmtop e bateria.

O estudo foi conduzido num pomar experimental no Citrus Research and Education Center em Lake Alfred, FL. Utilizou-se três variedades de plantas para a coleta de dados: Valência, Hamlin e Grape Fruit. Foram realizadas leituras de refletância em novas brotações e ramos maduros em diferentes árvores de citros. Para cada variedade foram selecionadas quatro novas brotações e quatro ramos maduros que não pertenciam necessariamente à mesma árvore. Em cada ramo realizaram-se dez leituras de maneira estática, sendo a média das dez leituras o valor referente àquele ramo. A área amostrada pelo sensor é de aproximadamente 1450 cm<sup>2</sup> sendo o valor de refletância a média dessa região.



Figura 2: ramo juvenil (esquerda); folhas maduras (centro); árvore de grapefruit com emissões de ramos juvenis (direita).

As medições foram feitas a uma distância de aproximadamente um metro entre o sensor e o alvo e também sempre com a luz solar abaixo de 900 lux. Segundo testes anteriores determinou-se que essas são as melhores condições para realização de leituras com esse equipamento.

A forma de coleta dos dados também procurou simular uma operação de pulverização real em campo, ou seja, com o equipamento visando o alvo de maneira perpendicular ao solo, e também as amostras selecionadas apresentando tamanho e quantidade de folhas variável. As leituras foram repetidas em quatro ocasiões, 5/09/08, 9/09/08, 15/09/08 e 16/09/08, totalizando dezesseis ramos juvenis e dezesseis ramos maduros, quatro em cada data.

A partir dos valores da refletância em cada comprimento de onda calculou-se os seguintes índices: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SR (Simple Ratio), MTVI1 e MTVI2 (Modified Triangular Vegetation Index), RDVI (Renormalized Difference Vegetation Index), G (Greenness Index), TVI (Triangular Vegetation Index), MCARI1 (Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index) e SIPI (Structure Intensive Pigment Index). Para o cálculo dos índices NDVI e SR utilizou-se como o comprimento de onda infravermelho próximo tanto 870nm quanto 970nm gerando assim NDVI870, NDVI970, SR870 e SR970.

As equações referentes a cada índice podem ser visualizadas na Tabela 1. Pode-se observar que em algumas equações são requeridos comprimentos de ondas não mensuráveis por esse sensor. Nesses casos utilizou-se o comprimento de onda mais próximo ao requerido.

Tabela 1: Índices Hiperespectrais utilizados e respectivas equações.

Índice	Equação
NDVI	$NDVI = \frac{RNIR - Rred}{RNIR + Rred}$
SR	$SR = \frac{NIR}{Rred}$
MTVI1	$MTVI1 = 1.2 \times [1.2 \times (R800 - R550) - 2.5 \times (R670 - R550)]$
MTVI2	$MTVI2 = \frac{1.5 \times [1.2 \times (R800 - R550) - 2.5 \times (R670 - R550)]}{\sqrt{(2 \times R800 + 1)^2 - (6 \times R800 - 5 \times \sqrt{R670})} - 0.5}$
RDVI	$RDVI = \frac{(R800 - R670)}{\sqrt{(R800 + R670)}}$
G	$G = \frac{R570}{R670}$
TVI	$TVI = 0.5 \times [120 \times (R750 - R550) - 200 \times (R670 - R550)]$
MCARI1	$MCARI1 = 1.2 \times [2.5 \times (R800 - R670) - 1.3 \times (R800 - R550)]$
SIPI	$SIPI = \frac{R800 - R550}{R800 - R650}$

Tais índices foram submetidos a análises estatísticas com o objetivo de determinar quais deles são capazes de diferenciar os ramos novos dos maduros. Para a comparação das médias utilizaram-se as análises estatísticas Tukey e Fisher (Least Square Difference - LSD), a 95 e 99% de confiabilidade, realizadas no programa Microsoft Excel 2007.

### 3.2.2. Desempenho do sistema em teste dinâmico e estático

O protótipo para pulverização localizada automática foi desenvolvido pelos pesquisadores Dr J. M. Maja e Dr M. Salyani no Citrus Research and Education Center (UF-CREC). O sistema é composto pelo sensor multiespectral, uma unidade controladora, GPS e um bico pulverizador acoplado a uma bomba hidráulica e válvula solenóide, como mostra a figura 3.



Figura 3: Sensor multiespectral (esquerda); unidade de controle (centro); válvulas solenóides (direita).

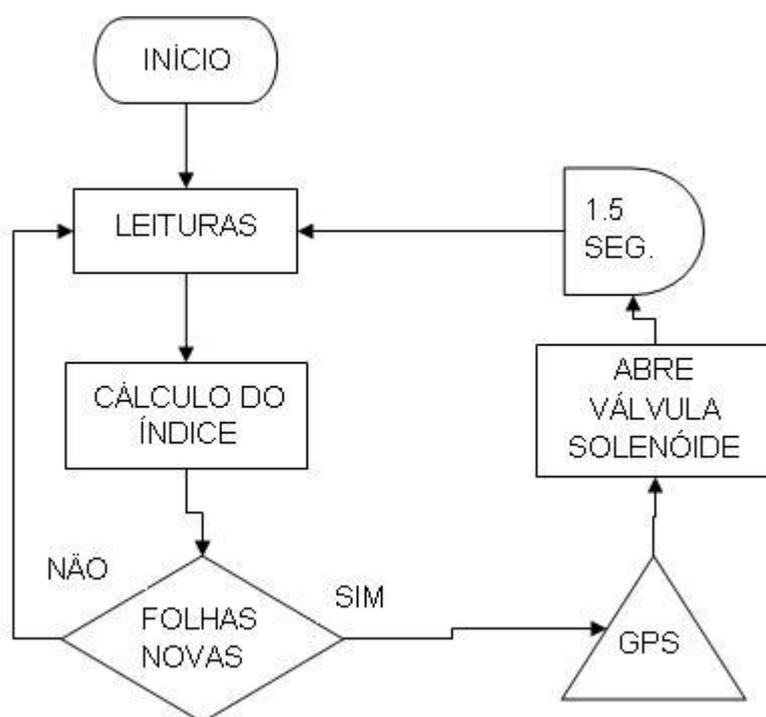


Figura 4: Fluxograma do funcionamento do sistema de pulverização localizada automática.

Conforme mostra a figura 4, o sistema se inicia com as leituras realizadas pelo sensor. Os dados são enviados à caixa controladora onde serão separados os valores de refletância de cada comprimento de onda, a partir dos quais será calculado um índice de vegetação. Se o valor do índice é reconhecido como referente as folhas novas, o GPS coletará as coordenadas do local e a válvula solenóide irá abrir um dos bicos pulverizadores por 1,5 segundo. Em seguida as leituras serão iniciadas novamente. Se o valor for reconhecido como referente às folhas maduras o sensor coletara novas medições imediatamente.

A unidade controladora está conectada a um computador e em um software específico serão visualizados os valores de refletância e as coordenadas capturadas

pelo GPS. No mesmo software deve ser configurado o índice a ser utilizado e o valor do índice que separará as folhas novas das maduras (figura 5).

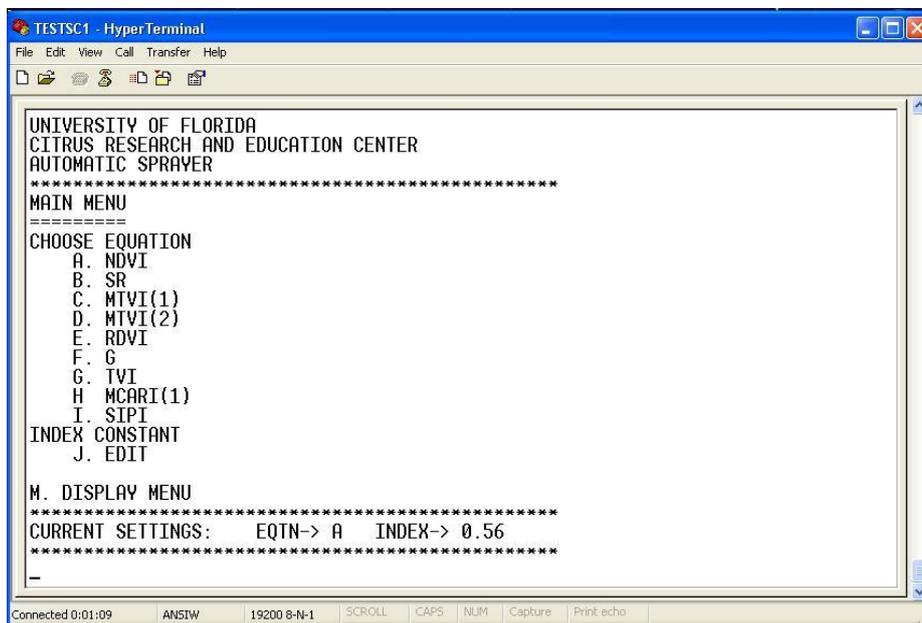


Figura 5: Display do software utilizado para visualizar os valores de refletância e configurar o índice utilizado e o seu valor limite entre folhas novas e maduras.

A avaliação do desempenho do sistema em experimento cinemático se deu em condições controladas em laboratório. Instalou-se o sensor em um trilho, sobre o qual o instrumento se movimentou cinco metros ida e volta por dez vezes à velocidade de 0,7m/s. Uma árvore de grapefruit foi posicionada a uma distancia de 30cm do sensor, e anexou-se à ela um ramo juvenil. Posteriormente, de maneira estática coletou-se os valores de refletância do ramo juvenil e de um ramo maduro por 1 min. Durante as leituras um pano de fundo preto foi colocado atrás da árvore para diminuir as interferências de outros objetos nas medições (Figura 6). Os dados de refletância foram convertidos em valores dos seguintes índices: NDVI870, NDVI970, SR870, SR970, e G.



Figura 6: Sensor instalado no trilho realizando leituras em árvores de citros.

No experimento estático o sistema foi organizado da mesma maneira que no experimento anterior, porém dessa vez testou-se diferentes posições do sensor e as leituras foram realizadas de maneira estática. Utilizou-se os seguintes ângulos para a coleta de dados: 0°, 15° e 20° à esquerda e 15° e 20° à direita (rotação do sensor no seu próprio eixo). Em cada posição coletou-se a refletância das folhas novas e dos ramos maduros por 1min.

Os dados dos dois experimentos foram plotados em gráficos de forma a observar os valores obtidos durante as leituras.

### 3.3. Relutados e discussão

#### 3.3.1. Análise de Índices de vegetação

A tabela 2 exemplifica os valores de refletância obtidos nas leituras de dois ramos, um juvenil (New Flush) e um maduro (Old Flush), coletados dia 16/09/08 em árvores Hamlin. A partir dos dados de cada comprimento de onda calcularam-se os índices. As médias dos dez valores de todos os ramos e de todos os índices foram plotados graficamente (Figuras 7, 8 e 9).

Tabela 2: Dados de refletância e índices obtidos em ramo juvenil e ramo maduro em árvores da variedade Hamlin.

	570nm	670nm	870nm	970nm	NDVI-870	NDVI-970	SR - 870	SR - 970	MTVI-1	MTVI-2	RDVI	G	TVI	MCARI1	SIPI
NF1	0.143	0.061	0.731	0.449	0.84596	0.76078	11.9836	7.36066	1.09272	0.87979	0.75286	2.34426	43.48	1.09272	0.74242
NF1	0.156	0.061	0.733	0.452	0.84635	0.76218	12.0164	7.40984	1.11588	0.897	0.75415	2.55738	44.12	1.11588	0.7267
NF1	0.156	0.06	0.73	0.442	0.8481	0.76096	12.1667	7.36667	1.11456	0.89999	0.75381	2.6	44.04	1.11456	0.72658
NF1	0.168	0.06	0.724	0.442	0.84694	0.76096	12.0667	7.36667	1.12464	0.9125	0.74991	2.8	44.16	1.12464	0.70918
NF1	0.17	0.06	0.708	0.434	0.84375	0.75709	11.8	7.23333	1.10472	0.90782	0.73943	2.83333	43.28	1.10472	0.70052
NF1	0.156	0.06	0.686	0.423	0.83914	0.75155	11.4333	7.05	1.0512	0.87891	0.72478	2.6	41.4	1.0512	0.71046
NF1	0.158	0.06	0.678	0.429	0.8374	0.7546	11.3	7.15	1.0428	0.87733	0.71938	2.63333	41	1.0428	0.70461
NF1	0.134	0.06	0.685	0.428	0.83893	0.7541	11.4167	7.13333	1.01544	0.84967	0.72411	2.23333	40.46	1.01544	0.7396
NF1	0.152	0.06	0.684	0.43	0.83871	0.7551	11.4	7.16667	1.04208	0.87264	0.72343	2.53333	41.12	1.04208	0.71505
NF1	0.137	0.059	0.678	0.422	0.83989	0.75468	11.4915	7.15254	1.01304	0.85428	0.72104	2.32203	40.26	1.01304	0.73406
<b>AVG NF1</b>	<b>0.153</b>	<b>0.0601</b>	<b>0.7037</b>	<b>0.4351</b>	<b>0.84252</b>	<b>0.7572</b>	<b>11.7075</b>	<b>7.23897</b>	<b>1.07171</b>	<b>0.88299</b>	<b>0.73629</b>	<b>2.5457</b>	<b>42.332</b>	<b>1.07171</b>	<b>0.72092</b>
OF1	0.112	0.031	0.464	0.285	0.87475	0.8038	14.9677	9.19355	0.74988	0.81787	0.61544	3.6129	29.22	0.74988	0.71111
OF1	0.128	0.032	0.499	0.31	0.87947	0.81287	15.5938	9.6875	0.82224	0.87101	0.64087	4	31.86	0.82224	0.69868
OF1	0.12	0.033	0.505	0.313	0.87732	0.80925	15.303	9.48485	0.8154	0.85582	0.6435	3.63636	31.8	0.8154	0.71561
OF1	0.133	0.033	0.512	0.32	0.8789	0.81303	15.5152	9.69697	0.84576	0.88319	0.64884	4.0303	32.74	0.84576	0.69541
OF1	0.133	0.033	0.503	0.313	0.87687	0.80925	15.2424	9.48485	0.8328	0.87534	0.64197	4.0303	32.2	0.8328	0.6903
OF1	0.127	0.032	0.493	0.305	0.8781	0.81009	15.4063	9.53125	0.81204	0.86387	0.63624	3.96875	31.46	0.81204	0.69714
OF1	0.116	0.033	0.506	0.314	0.87755	0.8098	15.3333	9.51515	0.8106	0.85017	0.64427	3.51515	31.7	0.8106	0.72356
OF1	0.125	0.033	0.507	0.318	0.87778	0.81197	15.3636	9.63636	0.82608	0.86578	0.64503	3.78788	32.12	0.82608	0.70741
OF1	0.135	0.033	0.499	0.308	0.87594	0.80645	15.1212	9.33333	0.83016	0.87505	0.6389	4.09091	32.04	0.83016	0.68421
OF1	0.122	0.033	0.49	0.305	0.8738	0.80473	14.8485	9.24242	0.79692	0.84532	0.63192	3.69697	30.98	0.79692	0.70363
<b>AVG OF1</b>	<b>0.1251</b>	<b>0.0326</b>	<b>0.4978</b>	<b>0.3091</b>	<b>0.87705</b>	<b>0.80912</b>	<b>15.2695</b>	<b>9.48062</b>	<b>0.81419</b>	<b>0.86034</b>	<b>0.6387</b>	<b>3.83695</b>	<b>31.612</b>	<b>0.81419</b>	<b>0.70271</b>

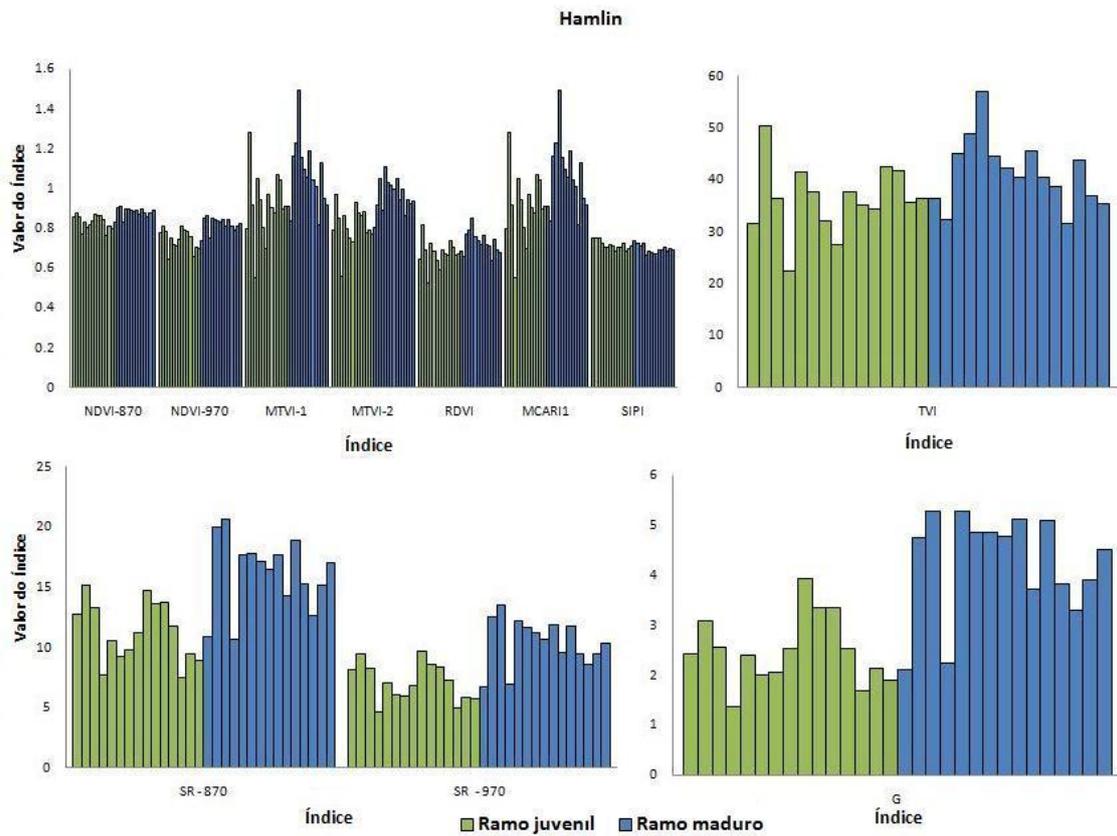


Figura 7: Média do índice para todos os ramos das árvores da variedade Hamlin.

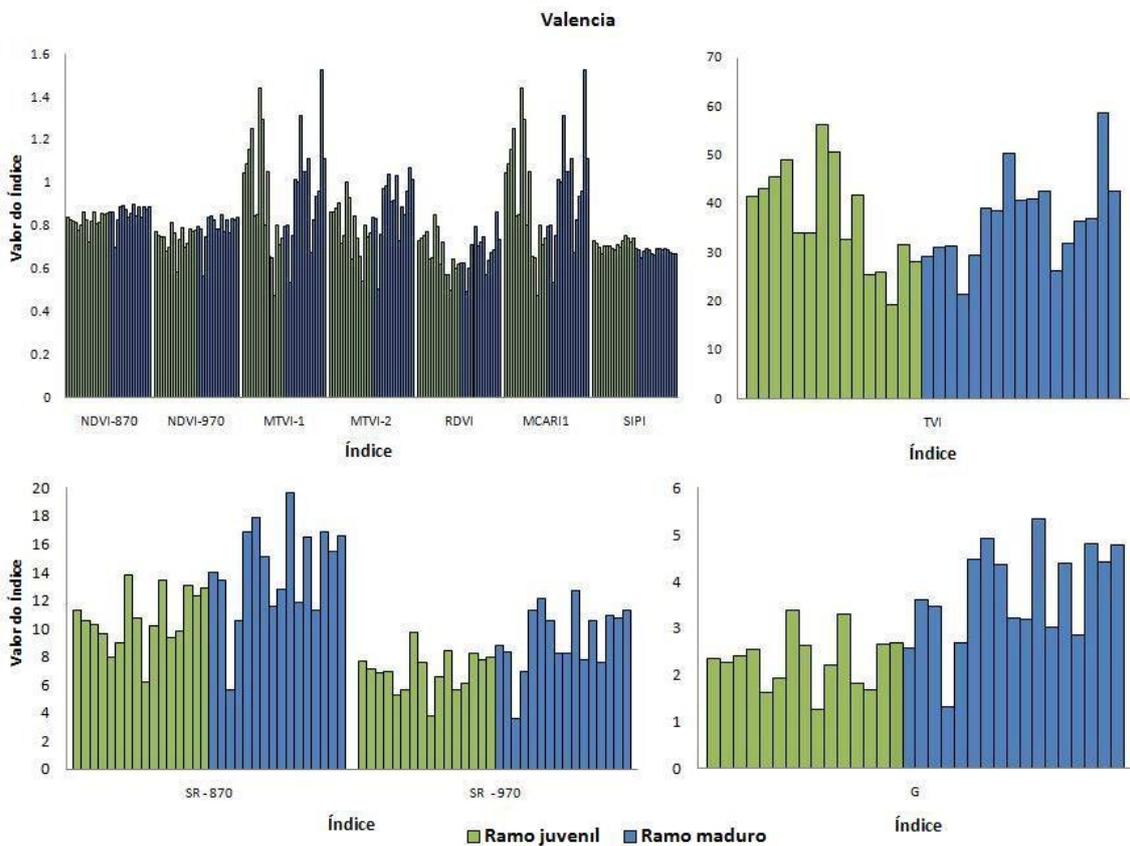


Figura 8: Média do índice para todos os ramos das árvores da variedade Valencia.

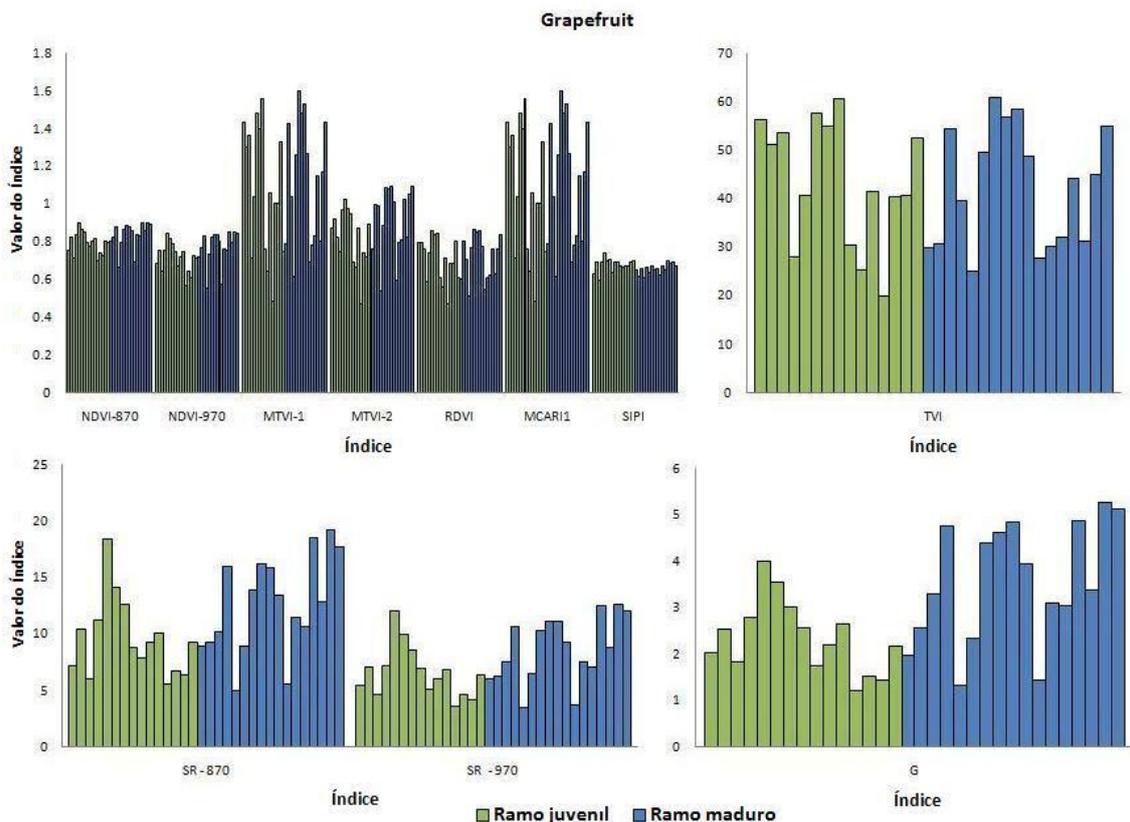


Figura 9: Média do índice para todos os ramos das árvores da variedade Grapefruit.

Nas Figuras 7, 8 e 9 são visualizados os dados referentes às médias dos índices obtidos em todos os ramos utilizados. Devido ao fato de os ramos não apresentarem um padrão de tamanho e número de folhas, nas três variedades pode-se observar uma certa aleatoriedade nos valores dos índices obtidos. Ainda assim, verificou-se que normalmente os valores para as folhas novas são menores quando comparados às folhas maduras. Isso ocorreu em todos os índices com exceção do SIPI. Nesse caso o comportamento é inverso.

A partir dos dados obtidos é possível determinar valores limites capazes de diferenciar os ramos juvenis dos maduros. Tal informação será utilizada no sistema de controle do pulverizador que acionará ou não a aplicação de acordo com esse valor. Cada variedade terá um valor diferente que será configurado no controlador.

Os resultados obtidos a partir das análises estatísticas de Tukey e Least Square Difference (LSD) foram os iguais, e são mostrados na Tabela 3. Os quadros verdes significam que o índice foi capaz de diferenciar os ramos novos dos maduros, e os vermelhos aqueles que não foram capazes. Os testes foram realizados a 95 e 99% de confiabilidade.

Tabela 3: Resultado das análises estatísticas Tukey e LSD para as três variedades.

Variedade	Nível de significância	Índice										
Hamlin	95%	NDVI870	NDVI970	SR870	SR970	MTVI1	MTVI2	RDVI	G	TVI	MCARI	SIPI
	99%	NDVI870	NDVI970	SR870	SR970	MTVI1	MTVI2	RDVI	G	TVI	MCARI	SIPI
Valencia	95%	NDVI870	NDVI970	SR870	SR970	MTVI1	MTVI2	RDVI	G	TVI	MCARI	SIPI
	99%	NDVI870	NDVI970	SR870	SR970	MTVI1	MTVI2	RDVI	G	TVI	MCARI	SIPI
Grape Fruit	95%	NDVI870	NDVI970	SR870	SR970	MTVI1	MTVI2	RDVI	G	TVI	MCARI	SIPI
	99%	NDVI870	NDVI970	SR870	SR970	MTVI1	MTVI2	RDVI	G	TVI	MCARI	SIPI

Não significante    
 Significante

Nos índices NDVI e SR observa-se que quando se utiliza diversos comprimentos de onda para o cálculo, apesar de apresentarem valores diferentes, a capacidade do mesmo em diferenciar os ramos novos dos maduros é independente do comprimento de onda utilizado. Observa-se também que dependendo da variedade e o grau de confiabilidade a quantidade de índices úteis é diferente. Para a variedade Hamlin a maioria dos índices utilizados são adequados, já para Grapefruit poucos índices são eficazes. Da mesma forma, poucos índices são eficazes quando o nível de confiabilidade foi 99%. Dentre os índices utilizados, G é o único capaz de diferenciar os ramos juvenis dos ramos maduros para todas as variedades e também tanto a 95 quanto a 99% de confiabilidade.

### 3.3.2. Desempenho do sistema em teste dinâmico e estático

Nas figuras 10 e 11 são observados os valores dos índices NDVI870, NDVI970, SR870, SR970 e G obtidos no experimento cinemático. A linha azul representa todos os dados coletados enquanto o sensor se movia ao longo do trilho. As linhas verdes e vermelhas representam a média do ramo juvenil e maduro respectivamente, coletados de maneira estática.

Observa-se que para todos os índices calculados, existem valores abaixo da linha verde que corresponde ao momento em que as folhas novas entram no campo de visão do sensor. Isso se observa nas dez vezes em que o sensor caminha ao longo do trilho. Esses valores ocorrem sempre em pares, o que sugere que o primeiro se refere ao caminhamento do sensor em um sentido, e o segundo ao caminhamento no sentido oposto.

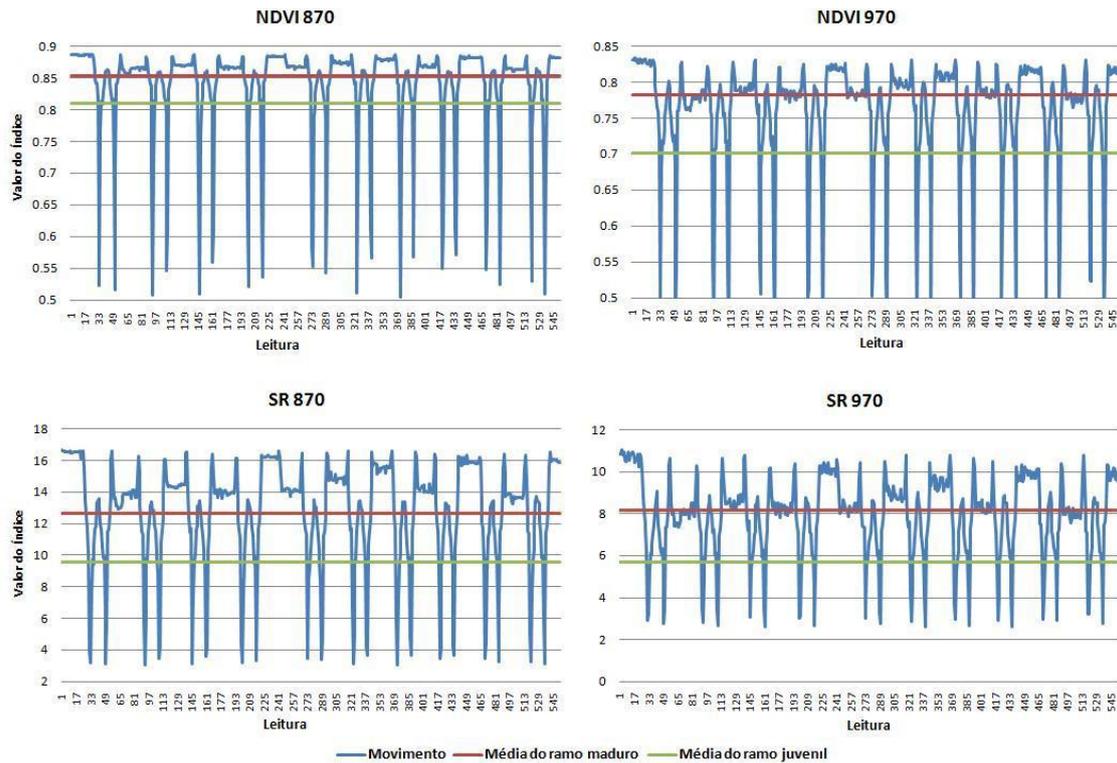


Figura 10: Gráficos dos índices NDVI870, NDVI970, SR870 e SR970, obtidos no experimento cinemático.

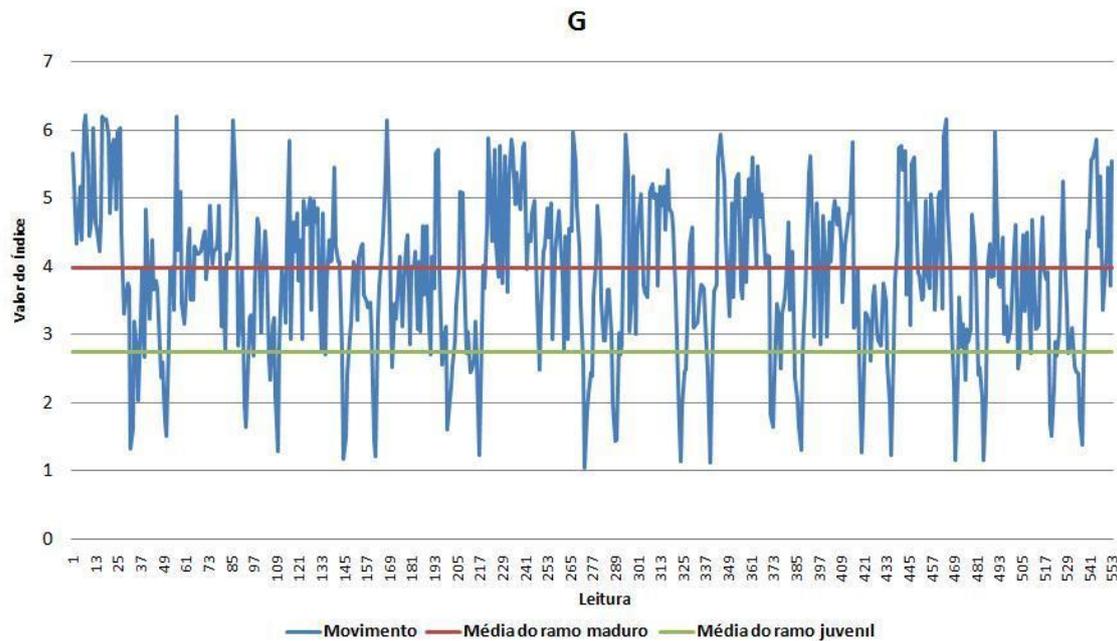


Figura 11: Gráfico do índice G, obtido no experimento cinemático.

Os índices NDVI870, NDVI970, SR870 e SR970 apresentaram menor variação dos valores se comparado ao índice G, mas também se observa que os valores mais

baixos, que sugerem o reconhecimento das folhas novas pelo sensor, estão muito abaixo do valor obtido na medição estática.

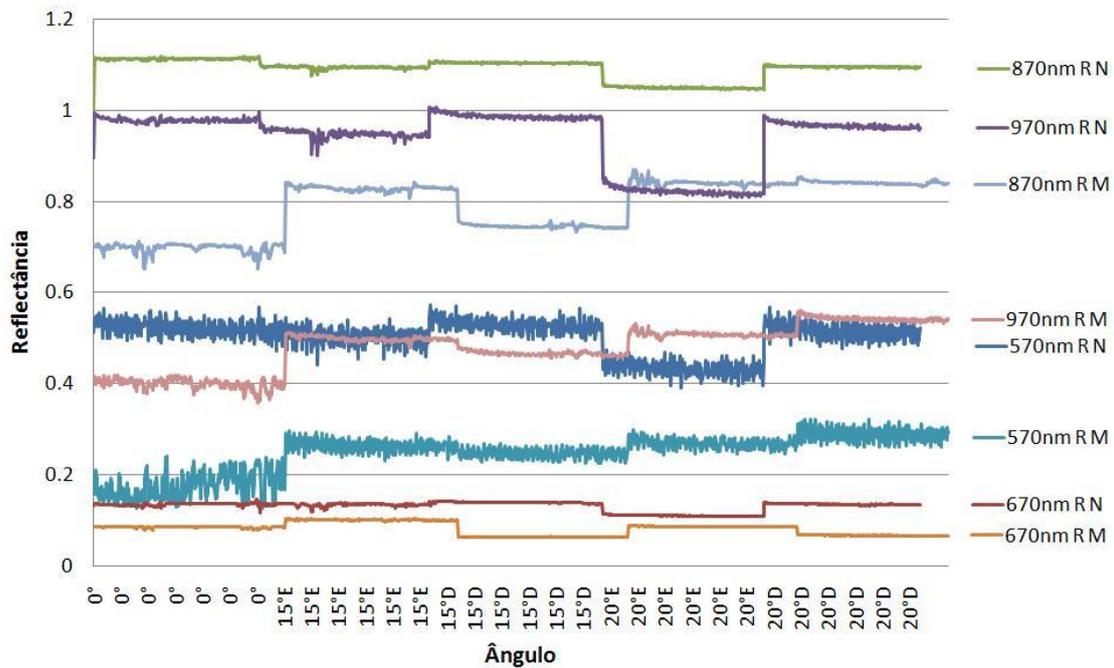


Figura 12: Refletância em quatro comprimentos de onda obtidos em diferentes ângulos em ramos novos (RN) e em ramos maduros (RM).

Os resultados do teste estático são mostrados na figura 12. Os valores obtidos para ramos novos e ramos maduros são significativamente diferentes para um mesmo comprimento de onda e mesmo ângulo de leitura. Além disso, ângulos diferentes de visada geraram valores distintos de refletância. Isso se dá principalmente, pois ao mudar a posição do sensor, a área lida pelo mesmo também é alterada. Analisando o gráfico, observa-se que o comprimento de onda 570nm apresentou maior variação nos valores, tanto em ramos novos quanto nos maduros. Isso explica a maior variação observada no índice G nos resultados gerados no experimento dinâmico. O índice utiliza em sua equação o valor de refletância em 570nm.

### **3.4. Conclusão**

O índice de vegetação “Green” (G) é eficiente em diferenciar ramos novos dos maduros em três variedades de citros, Hamlin, Valencia e Grape Fruit. O índice tem potencial utilização para a técnica de pulverização localizada. A partir dos dados obtidos, pode-se determinar um valor limite diferente para cada variedade, que será configurado na unidade controladora e governará a abertura e fechamento da válvula solenóide.

O sistema desenvolvido para aplicação localizada automática demonstrou bom desempenho em diferenciar as folhas novas das maduras em uma árvore de citros em condições dinâmicas. Observou-se também a importância da posição do sensor em relação ao alvo. Ângulos diferentes de visada podem gerar dados diferentes de refletância.

Uma série de parâmetros ainda devem ser estudados em futuros trabalhos antes do sistema ser utilizado em condições de campo, alguns deles são: o valor do índice G a ser configurado na unidade controladora, e que distinguirá as folhas novas das maduras, a velocidade ideal e a melhor posição do sensor para a realização das leituras, a distância entre o sensor e o alvo e a quantidade e disposição dos sensores necessários para que toda a árvore seja escaneada, entre outros. Testes em campo também devem ser realizados no sentido de verificar a real eficiência do sistema em condições reais de trabalho e quão vantajosa é a tecnologia economicamente e também ao controle de pragas.

#### 4. Pesquisas acompanhadas\*

\*A instituição CREC-UF e os respectivos autores de cada projeto, autorizam a apresentação das informações contidas nesse tópico.

##### 4.1. *Análise da distribuição de forças em árvore de citros durante a colheita utilizando uma máquina agitadora de copa*

Diversos Estudos são encontrados em colheita mecanizada de laranja, especialmente no Estado da Florida, mas poucos são aqueles que se dedicam a analisar os aspectos físicos de como o fruto é removido dos ramos por uma colhedora agitadora de copa, e também qual é a relação física entre a colhedora e a copa das árvores. Tais informações têm grande importância para que as colhedoras possam evoluir a modelos mais eficientes e que se adaptem as características de uma árvore de citros. Uma das primeiras pesquisas que abordam o tema por esse ponto de vista esta sendo conduzida no CREC no departamento de engenharia rural. O objetivo principal do trabalho é analisar a distribuição das forças em árvores de citros durante a colheita por uma máquina agitadora de copa.

Para a coleta de dados utilizou-se a colhedora agitadora de copa comercial OXBO 3210 (figura 13). A máquina realiza apenas a derriça dos frutos que devem ser recolhidos manualmente.



Figura 13: Colhedora OXBO 3210.

Para a medição das forças na copa utilizou-se acelerômetros instalados ao longo ramos de arvores de citros (figura 14). Os sensores transmitiam as informações via “wireless” à uma placa central conectada à porta USB de um computador.

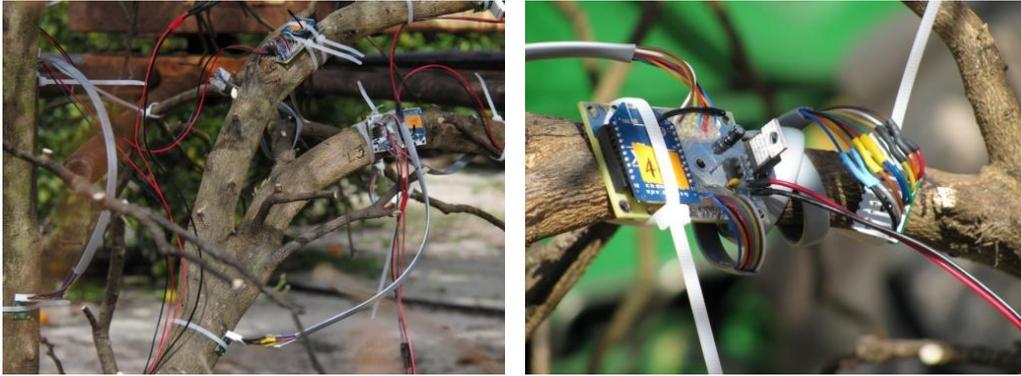


Figura 14: Acelerômetros instalados em árvore de citros.

Os resultados obtidos nesse trabalho possibilitarão a adaptação das partes da colhedora como material, tamanho, forma e número de hastes utilizadas no componente agitador. Em longo prazo o projeto visa desenvolver um sistema acoplado às colhedoras que meça as dimensões da copa e automaticamente ajuste o ângulo de ataque das hastes da colhedora, a frequência do componente agitador e a distância entre o componente agitador e a copa das árvores.

#### *4.2. Desenvolvimento de monitor de produtividade para colhedora agitadora de copa*

Na revisão bibliográfica apresentaram-se alguns dos meios utilizados para se medir a produtividade em um pomar de citros. O uso de monitores de produtividade acoplados a colhedoras é a maneira mais prática de se obter os mapas de produtividade. Porém, ainda não há nenhum sensor disponível comercialmente e nenhuma das colhedoras utilizadas na Florida é equipada com esse instrumento.



Figura 15: Monitor de produtividade (esquerda) e elevador de frutos da colhedora OXBO3220 (direita).

Dessa forma, vem sendo desenvolvido no departamento de engenharia rural (UF-CREC) dois tipos de sensores capazes de gerar mapas de produtividade em uma colhedora agitadora de copa, modelo OXBO3220. Um deles se baseia na medição de massa por células de carga instaladas no elevador de frutos da colhedora (figura 15). Um segundo monitor, ainda em fase de desenvolvimento, funciona através da medição da distância por diversos sensores instalados na esteira transportadora de frutos da colhedora. Este último sistema apresenta grande vantagem pelo seu baixo custo de implantação.

#### *4.3. Imagens hiperespectrais e espectroscopia utilizada na detecção da doença greening*

Atualmente o controle do HLB aumenta significativamente os custos de produção de um pomar citrícola. Isso ocorre em grande parte devido às despesas com equipes de inspeção. O diagnóstico visual da doença pode ser duvidoso e requer constante treinamento. Assim que o foco da doença é identificado, testes de laboratório (PCR, “Polymerase chain reaction”) são encaminhados. Em seguida as árvores infectadas são eliminadas do pomar. Uma única árvore contaminada deixada no campo pode reinfestar novamente um pomar.

Procurando tornar a inspeção dos pomares mais prática e confiável estudou-se formas de detecção da doença através da análise das características espectrais da cultura. Testou-se um espectrômetro portátil comercial (Spectra Vista Comporation) e uma câmera hiperespectral (figura 16).



Figura 16: Espectrômetro portátil (esquerda); câmera hiperespectral (centro); sintomas do HLB (direita).

Os dois instrumentos coletam dados de refletância em uma abrangente faixa do espectro (300 a 2500nm). A principal diferença entre os aparelhos é a área amostrada para as leituras. O espectrômetro realiza medições pontuais e individuais nas folhas. Já a câmera hiperespectral coleta o espectro de toda a copa gerando

imagens nas quais se cada pixel apresenta um dado de refletância. A utilização de imagens hiperespectrais e espectrometria tem potencial utilização para detecção do HLB nos estágios iniciais da infecção.

#### *4.4. Outras linhas de pesquisa*

- Utilização da tecnologia “zigbee” para transmissão de dados em rede sem fio de sensores de campo.

- Características espectrais do suco de laranja e relação com conteúdo de açúcar e acidez.

- Sensor a laser para determinação de tamanho e volume de copa.

- Desenvolvimento de um trator autônomo.

### **5. Considerações finais**

A realização do estágio profissionalizante em um centro de excelência em ensino e pesquisa proporcionou conhecimentos sólidos acerca da citricultura fluminense, da agricultura de precisão e da colheita mecanizada. As tecnologias observadas têm potencial de aplicação na agricultura brasileira, especialmente na citricultura no Estado de São Paulo cuja demanda por novas técnicas de manejo é sempre crescente. Durante o período do estágio os conhecimentos adquiridos ao longo da graduação puderam ser aprimorados e compartilhados com a comunidade acadêmica da Universidade da Florida. A experiência no exterior também possibilitou o aprendizado da língua inglesa e o contato com as mais diversas culturas do mundo, gerando grande crescimento pessoal.

## 6. Referências Bibliográficas

ALBRIGO, L. G., BUKER, R. S., BURNS, W. S. C., FUTCH, S., McCOY, C. W., MURARO, R. P., ROGERS, M. E., SYVERTSEN, J. P., TIMMER, L. W. The impact of four hurricanes in 2004 on the Florida citrus industry: Experiences and lessons learned. Proc. Fla. State Hort. Soc. 118:66-74. 2005.

ALVA, A. K., PARAMASIVAM, S. Nitrogen Management for High Yield and Quality of Citrus in Sandy Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 62:1335-1342, 1998.

ANNAMALAI, P.; LEE, W. S. Citrus Yield Mapping System Using Machine Vision. In ASAE Annual International Meeting. Las Vegas: ASAE (Paper, 031002). 2003.

ASSOCITRUS, Associação Brasileira de Citricultores, disponível em <<http://www.associtrus.com.br/>. Acesso em dezembro 2008.

BORA, G. C.; EHSANI, M. R.; GOODRICH, R.; MICHAELS, G. Field Evaluation of a Citrus Fruit Pick-up Machine. In ASAE Annual International Meeting. Potland. ASAE (Paper 06114) 2006 (a).

BORA, G. C.; EHSANI, M. R.; LEE, K.; LEE, W. Development Of A Test Rig For Evaluating A Yield Monitoring System For Citrus Mechanical Harvesters. In: 4th World Congress Conference Orlando (Paper 701P0606). 2006 (b).

BUKER, R. S., SYVERTSEN, J. P. BURNS, J. K., ROKA, F. M., MILLER, W. M., SALYANI, M. BROWN, G. K. Mechanical harvest and health. University of Florida. IFAS Extension HS961. 2004.

CAPOOR, S. P., RAO, D. G., VISWANATH, S. M. Greening disease of citrus in the Deccan Trap Country and its relationship with the vector, *Diaphornia citri*, Kuwayama. pp. 43-49 In L. G. Weathers and M. Cohen. 6th Conference of the International Organization of Citrus Virologists. University of California. 1974.

CHANG, N., DU, Q., KANTH, R. S. Integration of remote sensing and environmental modeling for pollution prevention in citrus industry. Environmental Informatics Archives, vol 1: 324-334, 2006.

CHUNG, K. R., BRLANSKY, R. H. Citrus Diseases Exotic to Florida: Huanglongbing (Citrus Greening). University of Florida. IFAS Extension PP-210. 2005.

COLACO, A. F., CARLOS, E. F., MOLIN, J. P., ALVES, W. J. Mapeamento de produtividade, fertilidade do solo, e falhas causadas por HLB e Declínio em pomar comercial de citros. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – Conbap, Piracicaba-SP, 2008.

COLACO, A. F., MOTOMIYA, A. V. A., MOLIN, J. P. Resposta de um sensor óptico ativo a diferentes condições de iluminação natural. In: 15º Simpósio Internacional de Iniciação Científica, Universidade de São Paulo – SIICUS. Anais. Pirassununga: SIICUSP. CD-Rom. 2007.

EHSANI, M. R., UPADHYAYA, S. K., SLAUGHTER, D., SHAFII, S., PELLETIER, M. A NIR technique for Rapid Determination of soil mineral nitrogen. Precision Agriculture, 1, 217-234. 1999.

EMMERICH, I. N. QUEIROS, D. M., PINTO, F. A. C. Análise da acurácia e precisão de um GPS de baixo custo para uso em Agricultura de Precisão. 3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. 2005.

EPIPHANIO, J. C. N., LUIZ, A. J. B., FORMAGGIO, A. R. Estimativas de áreas agrícolas municipais, utilizando sistema de amostragem simples sobre imagens de satélite. Bragantia, Campinas, v. 61, n.2, 187-197, 2002.

FAO, Food and Agriculture Organization. FAOSTAT, data 2005, 2007. Disponível em <http://faostat.fao.org> acesso em dezembro, 2008.

FARES, A. ALVA, A. K. Evaluation of capacitance probes for optimal irrigation of citrus through soil moisture monitoring in a entisol profile. Irrigation Society, 19: 57-64, 2000.

FARIAS, P. R. S., NOCITI, L. A. S., BARBOSA, J. C., PERECIN, D. Agricultura de Precisão: Mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, SP. v. 25, n.2, p.235-241. 2003.

FAS, Florida Agriculture Statistics. Disponível em [http://www.nass.usda.gov/Statistics\\_by\\_State/Florida/Publications/Citrus/cpfp.htm](http://www.nass.usda.gov/Statistics_by_State/Florida/Publications/Citrus/cpfp.htm) acesso em dezembro, 2008.

FDOC, Florida Department of Citrus. Disponível em <http://www.floridajuice.com/> acesso em dezembro 2008.

FLETCHER, R. S., ESCOBAR, D. E., SKARIA, M. Response of ratio vegetation indices to foot rot-infected citrus trees. *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, n.19, p.3967-3972(6). 2004.

GOERING, C. E. How much and where. *Agricultural Engineering*. St. Joseph, v. 73, n. 4, p. 13-15, 1992.

GONZALES, C. I., VIÑAS, R. C. Field performance of citrus varieties and cultivars grown under control measures adopted against leaf mottling (greening) disease in the Philippines. *Proc. International Soc. Citriculture* 1: 463-464. 1981.

GOTTWALD, T. R., HUGHES, G. GRAHAM, J. H., SUN, X., RILEY, T. The Citrus Canker epidemic in Florida: The scientific basis of regulatory eradication policy for invasive species. *Phytopathology*, v. 91. No. 1, 2001.

GOTTWALD, T. R., IREY, M. Post-hurricane analysis of Citrus Canker II: Predictive model estimation of disease spread and area potentially impacted by various eradication protocols following catastrophic weather events. *Plant Health Progress*. 10. 1094/PHP-2007-0405-01-RS. 2007.

GRÖLL, K. Use of sensor technologies to estimate and assess the affects of various plant diseases on crop growth and developmet. Dissertation. Institute of Crop Production and Grassland Research, University of Hohenheim. 183p. 2008.

HALBERT, S. E., MANJUNATH, K. L. Asian citrus psyllids (Sternorrhyncha: Psyllidae) and greening disease of citrus: A literature review and assessment of risk in Florida. *Florida Entomologist*, 87(3). 2004.

HYMAN, B. WHITNEY, J., BUNRS, J., BURKS, T. Mechanical harvesting, always advancing. *Florida Grower*, v.100, n.12, p.28, 2007.

IEA, Instituto de Economia Agrícola. Disponível em <http://www.iea.sp.gov.br> acesso em dezembro, 2008.

IREY, M., GOTTWALD, T. R., GRAHAM, J. H., RILEY, T. D., CARLTON, G. Post-hurricane analysis of Citrus Canker spread and progress toward the development of a predictive model to estimate disease spread due to catastrophic weather events. *Plant Health Progress*. 10.1094/PHP-2006-0822-01-RS. 2006.

KANE, K. E., LEE, W. S. Multispectral imaging for in-field green citrus identification. In *ASAE Annual International Meeting*. Minneapolis: ASAE (Paper, 073025). 2007.

KOO, Y. M., SALYANI, M., WHITNEY, J. D. Effects of abscission chemical spray deposition on mechanical harvest efficacy of "Hamlin" orange. *Proc. Fla. State. Hort. Soc.* 112:28-33; 1999

LEE, K., EHSANI, R. A laser-scanning system for quantification of tree geometric characteristics. In *ASAE Annual International Meeting*. Rhode Island: ASAE (Paper, 083980) 2008.

LUIZ, A. J. B., EPIPHANIO, J. C. N. Amostragem por pontos em imagens de sensoriamento remoto para estimativa de área plantada por município. *Anais X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, foz do Iguaçu, 21-26 abril 2001, INPE, p. 111-118. 2001.

MASCARIN, L. S. Caracterização do sistema de colheita e desenvolvimento de técnica para obtenção de mapas de produtividade para citros. 2006 78 p. Tese Mestrado – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

MATSUMOTO, K., NISHIWAKI, K., ZHANG, S., YASHIRO, M. Development of experimental setup for distinction of disease plant. In *ASAE Annual International Meeting*. Potland. ASAE (Paper, 063016) 2006.

MENEGATTI, L. A. A., KORNDORFER, G. COLOMBO, C. A. LEONI, P. BISCARO, A. S. Recomendação de fósforo e calcário para aplicação em taxa variada na cultura de cana-de-açúcar. *I Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ESALQ/USP*. 2004.

MILLER, W. M., SCUMANN, A. VRT citrus test plot applications of granular fertilizer. In ASAE Annual International Meeting. Las Vegas: ASAE (Paper, 031127) 2003(a).

MILLER, W. M., WHITNEY, J. D., SCHUMANN, A. A test program to assess VRT granular fertilizer applications for citrus. In ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING. Las Vegas ASAE (Paper, 031126) 2003(b).

MIM, M., LEE, W. S. Spectral-based nitrogen sensing for citrus. In ASAE Annual International Meeting. Las Vegas: ASAE (Paper, 031137) 2003.

MISHRA, A., EHSANI, R., ALBRIGO, G., LEE, W. S. Spectral characteristics of citrus greening (huanglongbing). In ASAE. Annual International Meeting. Minneapolis: ASAE (Paper, 073056) 2007.

MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão. Parte I: O que é estado da arte em sensoriamento. Engenharia Agrícola, v. 17, n. 2, p. 97-107, 1997.

MOLIN, J. P. Geração de mapas de produtividade para Agricultura de Precisão. 2000 Disponível em < <http://www.esalq.usp.br/departamentos/ler/downloadap.htm>> acesso em dezembro 2008.

MOLIN, J. P. Tendências da agricultura de precisão no Brasil. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. Piracicaba, SP – ESALQ/USP. 2004.

MORRIS, A., MURARO, R. Economic evaluation of citrus greening management and control strategies. University of Florida. IFAS Extension FE-712. 2008.

NEVES, E. M., DAYOUB, M., DRAGONE, D. S., NEVES, M. F. Citrucultura Brasileira: Efeitos Econômico-Financeiro, 1996 – 2000. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal – SP, v.23, n. 2, p. 432-436, 2001.

PETERSON, D. L.; Mechanical harvester for process oranges. Agricultural Engineering in Agriculture, St. Joseph, v. 14, n. 5, p. 455-458. 1998.

POVH, F. P., MOLIN, J. P., GIMENEZ, L. M., PAULETTI, V., MOLIN, R., SALVI, J. V. Comportamento do NDVI obtido por sensor óptico ativo em cereais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 43, n.8, p. 1075-1083, 2008.

ROISTACHER, C. N. The economics of living with citrus diseases: Huanglongbing (greening) in Thailand, pp. 279-285 In J. V. da Graça, P. Moreno, and R. K. Yokomi. 13th Conference of the International Organization of Citrus Virologists. University of California, Riverside. 1996.

ROKA, F. Mechanical harvesting – what's the cost? Citrus Industry. V.88, n.7, p12. 2007.

ROKA, F., BURNS, J., SYVERTSEN, J., EBEL. R. Benefits of an abscission agent in mechanical harvesting of citrus. University of Florida. IFAS Extension FE752. 2008.

SALVASTORE, J. J., RITENOUR, M. A., SCULLY, B. T., ALBRIGO, L. G. The effect of the 2004 hurricane on citrus flowering potential for the 2005 season. Proc. Fla. State Hort. Soc. 118:75-79. 2005.

SANTOS JR, R. F., SANTOS, J. M., RUDORFF, B. F. T., MARCHIORATO, A. Detecção de *Heterodera glycines* em plantio de soja mediante espectrorradiometria no visível e infravermelho próximo. Fitopatologia Brasileira 27:355-360. 2002.

SCHNEIDER, H. Anatomy of greening-diseased sweet orange shoots. *Phytopathology* 58:1155-1160. 1986.

SCHUELLER, J. K., WHITNEY, J. D., WHEATON, T. A., MILLER, W. M., TURNER. Low cost automatic yield mapping in hand-harvested citrus. Computer and Electronics in agriculture. 23:145-153. 1999.

SCHUMANN, A., MILLER, W. M., ZAMAN, Q. U., HOSTLER, K. H., BUCHANON, S., CUGATI, S. Variable rate granular fertilization of citrus groves: Spreader performance with single-tree prescription zones. Applied Engineering in Agriculture. Vol 22(1): 19-24. 2006.

SEVIER, B. J., LEE, W. S. Adoption trends and attitudes towards precision agriculture in Florida citrus: preliminary from a citrus producer survey. In ASAE Annual International Meeting. Las Vegas: ASAE (Paper, 031100) 2003.

SU, H.-J., CHEON, J.-U., TSAI, M.-J. Citrus greening (Likubin) and some viruses and their control trials, pp. 143-147. In Plant Virus Diseases of Horticultural Crops in the Tropics and Subtropics. FFTC Book Series No. 33. 1986.

TEIXEIRA, D. do C., DANET, J. L., EVEILLARD, S., MARTINS, E. C., JESUS Jr, W. C., YAMAMOTO, P. T., LOPES, S. A., BASSANEZI, R. B., AYRES, A. J., SAILLARD, C., BOVE, J. M. Citrus huanglongbing in São Paulo State: PCR detection of the 'Candidatus' Liberibacter species associated with the disease. *Molecular and Cellular Probes*, 19, 173–179. 2005.

TSCHIEDEL, M., FERREIRA, M. F., Introdução à Agricultura de Precisão: conceitos e vantagens. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 32, n.1, p159-163, 2002.

TUMBO, S. D., SALYANI, M., MILLER, W. M., SWEEB, R., BUCHANON, S. Evaluation of a variable rate controller for aldicarb application around buffer zones in citrus groves. *Computer and Electronics in Agriculture* 56: 147-169, 2007.

TUMBO, S. D., WHITNEY, J. D., MILLER, W. M., WHEATON, T. A. Development and testing of a citrus yield monitor. *Applied Engineering in Agriculture*. v.18(4): 399-403, 2002.

WHELAN, B. M., McBRATNEY, A. B. The “Null Hypothesis” of Precision Agriculture Management. *Precision Agriculture*, 2, 265-279, 2000.

WHITNEY, J. D., MILLER, W. M., WHEATON, T. A., SALYANI, M., SHUELLER, L. K. Precision Farming applications in Florida citrus. *Applied Engineering in Agriculture*. Vol. 15(5): 399-403. 1999.

YANG, S. L., YANO, T., AYDIN, M., KITAMURA, Y., TAKEUCHI, S. Short term effects of saline irrigation on evapotranspiration from lysimeter-grown citrus trees. *Agricultural Water Management*. 56, 131-141, 2002.

ZEKRI, M. SYVERTSEN, J. A Healthy Harvest. Florida Grower. v.101, n.2, p.24-25.  
2008.