

Detecção de Requeima em Tomateiros Apoiada Por Técnicas de Agricultura de Precisão

Diogo Nunes¹, Carlos Werly¹, Pedro Vieira Cruz¹, Marden Manuel Marques³
Sérgio Manuel Serra da Cruz^{1,2,4}

¹Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro/UFRRJ

²Programa Pós Graduação em Modelagem Matemática e Computacional/UFRRJ

³Centrais de Abastecimento do Estado do Rio de Janeiro – CEASA/RJ

⁴Programa PET Sistemas de Informação - PET-SI/UFRRJ

{diogo_c_nunes, carlos_werly, serra}@ufrj.br

Resumo. Cada vez mais os produtores percebem que a tomada de decisões e uso de sistemas inteligentes na agricultura é mais que uma tendência, torna-se uma questão de sobrevivência e necessidade devido a globalização da economia e a competitividade dos produtos agrícolas. Este trabalho apresenta uma abordagem focada na melhoria da qualidade de culturas de tomate. Desenvolvemos estratégias computacionais de baixo custo voltadas para apoiar agricultores familiares na detecção precoce da requeima. Nossa abordagem utiliza técnicas do domínio da Agricultura de Precisão, sendo aplicadas em cultivares de tomates de um campo experimental onde foram processadas observações de campo, imagens e anotações coletadas pelos agricultores e utilizadas em redes neurais para a detecção da doença.

1. Introdução

O Brasil possui uma agricultura familiar dinâmica e diversificada, composta por 4,3 milhões de pequenos estabelecimentos agrícolas, responsáveis pela produção de produtos importantes para a cesta básica. Esta diversidade representa um valor econômico enorme para a agricultura brasileira que hoje experimenta um forte ritmo de crescimento em sua produtividade. Em 2013, a agricultura familiar contribuiu com cerca de 6% do Produto Nacional Bruto do Brasil [IBGE 2013]. Na área agrícola, as tecnologias da informação e comunicação (TICs) são os recursos e suportes tecnológicos que permitem o fluxo de informações e abrangem diversos meios de comunicação, desde os mais antigos como rádio, televisão, telefones fixos até mais modernos, como telefones celulares, computadores, *tablets*, equipamentos de gravação de áudio e vídeo, redes e sistemas multimídia, entre outros. As TICs conferem algum tipo de empoderamento às comunidades de pequenos agricultores [Schwartz 2012]. De acordo com o Comitê Gestor da Internet [CGI 2011], a partir do ano de 2010, os lares da zona rural apresentaram o maior crescimento de posse de telefone celular, passando de 58 % em 2009 para 68 % em 2010. No entanto, a agricultura familiar no estado do Rio de Janeiro pouco se utiliza de aplicativos móveis para telefones celulares ou *tablets* para auxiliá-los na gestão de suas lavouras [Nunes et al. 2014].

Dentre as culturas temporárias com valor expressivo na cadeia produtiva do estado do Rio de Janeiro destacam-se o tomate (*Solanum lycopersicum*). O tomate é a mais importante dentre todas as hortaliças cultivadas no Brasil e o Rio de Janeiro é hoje o terceiro maior produtor nacional. Os tomates são frutos climatérios e altamente suscetíveis a doenças e contaminação [Nakano 1999]. Além disso, o uso indiscriminado de agrotóxicos nos tomateiros pode acarretar sérios problemas à saúde humana e ao meio ambiente [Correa et al. 2009]. Por último, mas não menos importante, os pequenos agricultores familiares podem não ter os recursos necessários para cumprir os padrões cada vez mais rigorosos de segurança

alimentar, como a rastreabilidade, verificação de segurança e controle de estoque, principalmente porque eles não possuem pleno acesso a aplicativos móveis que podem auxiliar no alerta ou detecção precoce da ocorrência de doenças nos tomateiros [Vianna e Cruz 2013; Nunes et al. 2014]. Essa classe de aplicativos móveis pode ajudar os pequenos produtores e agricultores a reduzir o manejo de produtos químicos nas doenças dos tomateiros, aumentar seus níveis de renda e oferecer produtos mais saudáveis.

Este trabalho tem como objetivo apresentar um ambiente computacional que auxilia na detecção precoce de doenças foliares em tomateiros. O ambiente se alinha com a temática da Agricultura de Precisão (AP) [Coelho e Silva 2011; MAPA 2014], sendo capaz de manipular dados sobre a cultura auxiliando pequenos agricultores a acompanhar o desenvolvimento das culturas e no planejamento de atividades mais sustentáveis. Dentre as tecnologias computacionais adotadas temos inteligência computacional sob a forma de reconhecimento de padrões baseados em redes neurais tipo *Multilayer Perceptron* (MLP) [Sanyal e Patel 2008] e a engenharia do conhecimento aplicada em sistemas inteligentes em agricultura [Quincozes et al 2010] com ênfase na gestão de dados e seus descritores. O uso integrado dessas tecnologias já está se tornando uma realidade em grandes propriedades [Wang et al. 2006], contudo seu uso em pequenas propriedades e lavouras de tomates é uma novidade bastante desafiadora, ainda mais se considerarmos as dificuldades envolvidas na detecção precoce e automatizada de doenças e as dificuldades de aceitação da nova prática pelos pequenos produtores.

Este trabalho está organizado da seguinte forma, a Seção 2 caracteriza a hortaliça e a requeima. A seção 3 apresenta os conceitos da AP utilizados neste trabalho. A seção 4 apresenta a arquitetura para coletar dados da cultura e efetuar o reconhecimento dos padrões da doença. A seção 5 apresenta detalhes do banco de dado e experimentos baseados em redes neurais. A seção 6 apresenta os trabalhos relacionados, finalmente, a seção 7 conclui o artigo.

2. Requeima em Tomateiros

Doenças de plantas são anomalias causadas por fatores bióticos ou abióticos que agem continuamente na planta, resultando em queda de produção e/ou perda da qualidade do produto [DISQUAL 2010]. No tomateiro, as doenças são de frequência ou intensidade variadas em função de fatores ou condições (clima, localização da área plantada, modo de implantação e de condução da lavoura) [Filgueira 2008]. Já foram relatadas mais de 200 doenças em tomateiros, sendo que a prevalente no Brasil é a requeima. Ela é causada pelo oomycetes denominado *Phytophthora infestans*, ela é severa e resulta em perdas significativas nas culturas. A doença é visualmente reconhecida pelo surgimento de pontos escuros nas folhas, cujos matizes variam do cinza ao verde-pálido, frequentemente localizadas nas bordas da folha, podendo evoluir para grandes áreas necrosadas marrons [Filgueira 2008]. Essas lesões causam a perda de folhas e, nos casos mais severos, a morte da planta. Apesar de tipicamente observados nas folhas, os sintomas também podem aparecer em caules, frutos e brotos [Correa 2009].

3. Agricultura de Precisão

A Agricultura de Precisão (AP) é um tema multidisciplinar. É um sistema de manejo integrado de informações e tecnologias de *hardware* e *software*, baseado nos conceitos de que as variabilidades de tempo e espaço influenciam nos rendimentos das lavouras. AP visa o gerenciamento planejado do sistema de produção agrícola como um todo, não só das aplicações de insumos ou de mapeamentos. AP faz uso de um grande conjunto de tecnologias,

a saber: GPS, SIG, sistema de informações, bancos de dados, sensores para medidas ou detecção de parâmetros ou de alvos de interesse no agroecossistema (solo, planta, insetos e doenças), de geostatística e da mecatrônica [MAPA 2014].

AP não se relacionada apenas com uso de TICs, seus fundamentos podem ser empregados no dia-a-dia das propriedades pela maior organização, gestão e controle das atividades, dos gastos e produtividade em cada área cultivada. A diferenciação da produção já ocorre na divisão e localização das lavouras dentro da propriedade rural, na divisão dos talhões, ou simplesmente, na identificação de “manchas” que diferem do padrão geral. A partir dessa divisão, o tratamento diferenciado de cada área é a aplicação das técnicas de AP [Coelho e Silva 2011]. A Figura 1 ilustra os principais conceitos da AP utilizados na modelagem dos aplicativos móveis, Web, redes neurais e do banco de dados.

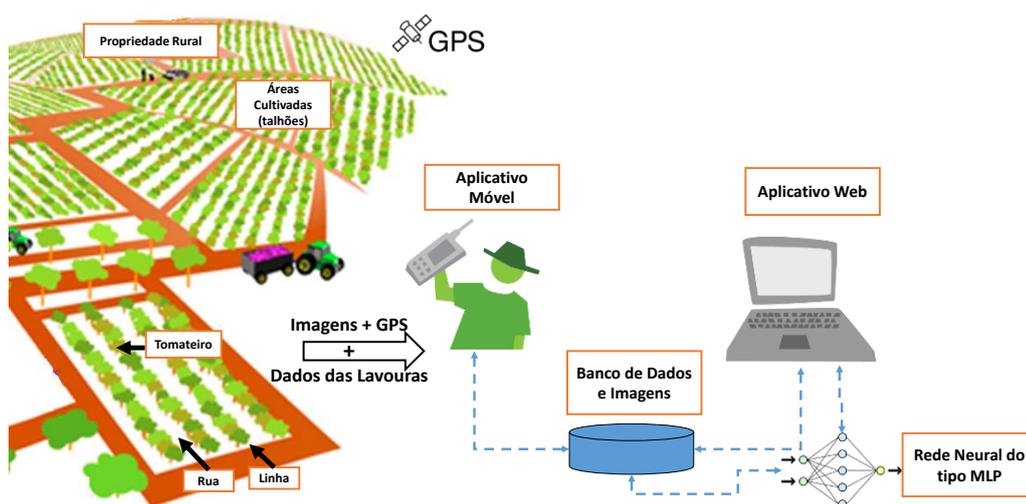


Figura 1 - Visão geral dos conceitos da AP utilizados no manejo tecnológico dos tomateiros.

4. Arquitetura Proposta

A arquitetura proposta está em fase de finalização do desenvolvimento, ela é composta por camadas de aplicativos Móvel e Web cujas funcionalidades foram elicidadas através de técnicas de análise dos requisitos levantados junto aos agricultores e agrônomos e a modelagem foi representada em linguagem UML. O *schema* do banco de dados relacional foi concebido para armazenar os dados sobre as lavouras, áreas cultivadas, plantas e suas imagens, dados de GPS, procedimentos agrícolas e também metadados sobre o monitoramento realizado pelos agricultores através dos dispositivos móveis. O aplicativo móvel (Figura 2) possui interfaces gráficas (bem simples) para serem utilizadas pelos agricultores com pouca experiência em TICs. Através dele o agricultor é capaz de representar as áreas cultivadas (ruas e linhas), coletar dados, anotações e imagens sobre cada tomateiro. Estes dados são transferidos através da conexão sem fio para uma estação base que executa o aplicativo Web. O aplicativo Web é capaz de manter as propriedades rurais, áreas de cultivo, lavouras, mão de obra, aplicações de defensivos, anotações de cultivo e estados meteorológicos. Ele também é capaz de importar os dados da aplicação móvel e produzir os relatórios gerenciais consolidados de acompanhamento a serem submetidos aos serviços de assistência técnica. O aplicativo Web também desempenha um papel importante pois é

através dessa interface que ocorre que executam as tarefas de reconhecimento de padrões para a detecção automatizada de requeima baseadas em redes neuronais.

5. Banco de Dados e Detecção Automatizada de Requeima

O aplicativo móvel foi desenvolvido em Java (Figura 2), sendo baseado no *Android* (versão *KitKat*), opera em simples telefones celulares e não requer que a área cultivada seja atendida pela rede de telefonia celular. O aplicativo é capaz de coletar e armazenar imagens georreferenciadas sobre os tomateiros infectados (ou suspeitos) através uma câmera embutida. Além disso, permite que o agricultor registre e identifique unicamente cada tomateiro da propriedade através do retículo Rua-Linha-Talhão. Cada tomateiro possui uma identificação única, descritores e imagens que representam seu estado geral que podem variar ao longo do tempo desde o plantio até a colheita dos frutos.

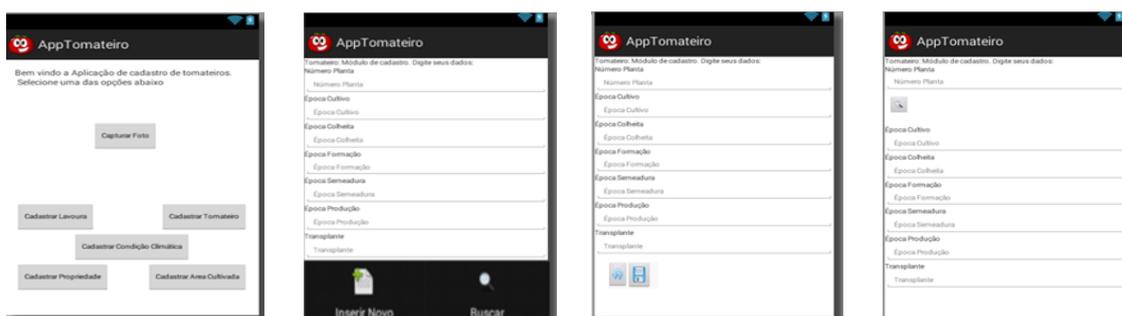


Figura 2. Telas do Aplicativo Móvel no *Android*.

Os dados coletados pelo aplicativo móvel são armazenados temporariamente no SQLite. O SQLite é uma biblioteca que implementa um banco de dados transacional compatível com SQL de modo embutido no dispositivo móvel. Posteriormente os dados são transferidos para o SGBD MySQL. O *schema* do banco de dados foi idealizado para armazenar informações textuais (sobre os conceitos da AP), cultivo, imagens e metadados (Figura 3). O *schema* foi materializado para representar os atributos que são utilizados pelo aplicativos e pela rede neural MLP que faz a detecção automatizada da ocorrência de requeima.

5.1 Banco de Dados

A Figura 3 ilustra apenas as principais entidades do *schema* do banco de dados necessárias à compreensão deste trabalho. *Propriedade Rural* é uma localidade na micro-região estudada, contém descritores sobre fatores intrínsecos da mesma, como qualidade da água, topografia predominante, mecanização e seu tipo. Já o relacionamento *Área Cultivada* armazena dados sobre o cultivo realizado, assim como, a estrutura da área e a qualidade do solo pertencente ao local. *Rua* trata do dimensionamento e espaço físico que o produtor rural tem para se locomover entre as linhas e para manipular os tomateiros, cada rua possui duas *Linhas* de tomateiros, sendo que este relacionamento terá a quantidade de linhas e a distância entre as mesmas. *Condição Climática* armazena as características climáticas predominante da propriedade (luminosidade, temperatura, umidade) influenciam significativamente na cultura do tomate. *Lavoura* descreve a técnicas de cultivo e os genótipos (variedades) de tomate, dados da semente, assim como a quantidade de plantas da lavoura, entre outros. *Praga, Doença e Injuria* contém informações referentes ao controle de insetos e ácaros (pragas) e doenças dos tomateiros. Injuria são pequenas lesões ocasionadas na planta que cria condições propícias ao surgimento dos itens citados anteriormente.

A entidade *Tomateiro* armazena os dados específicos do ciclo de vida dos tomates (épocas de cultivo, colheita, formação, sementeira, produção e transplante). Todos estes itens citados juntamente com a entidade *Imagem* são utilizados pelas redes neurais. Cada imagem de tomateiro pode ser georeferenciada permitindo detectar automaticamente a requeima e também avaliar o deslocamento da doença pelos talhões e pela propriedade.

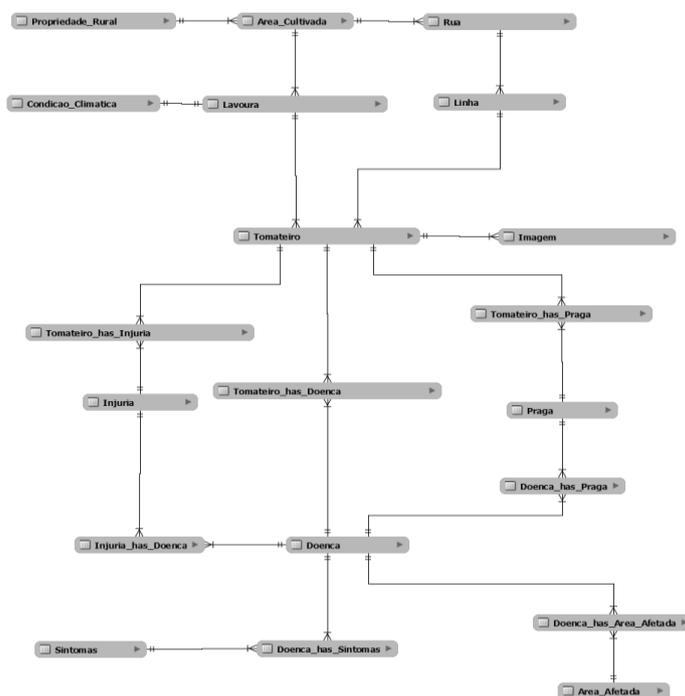


Figura 3. **Schema resumido do banco de dados da abordagem proposta.**

5.2 Detecção da Requeima

Até o momento, os agricultores familiares dispõem de poucas opções de ferramentas automatizadas que os auxiliem na detecção precoce da requeima nos tomateiros. Uma abordagem utilizada é a chave de classificação manual definida por Correa et al (2009). Essa chave está baseada em imagens estilizadas de folhas de tomates que quantificam o grau de infestação por *P. infestans*, permitindo avaliar visualmente o grau de contaminação do tomateiro. A detecção manual precoce de doenças, realizada pelos especialistas, nem sempre é uma opção economicamente viável. Por outro lado, a detecção automatizada acelera o processo de identificação das amostras ao se separar em dois conjuntos: aquele das amostras em bom estado e aquele das amostras que podem passar por um exame mais detalhado, a ser feito por especialistas. A incorporação de técnicas inteligência computacional tem como objetivo automatizar e acelerar o processo de identificação de doenças e pragas em tomateiros.

Recentemente, Vianna e Cruz (2013, 2014) desenvolveram técnicas que podem incrementar a produtividade das lavouras de tomates do estado do Rio de Janeiro. A tecnologia computacional adotada foi baseada na inteligência computacional, sob a forma de reconhecimento de padrões baseados em redes neurais do tipo MLP. Nestes trabalhos, os autores realizaram dois processamentos sobre cada amostra digital colorida de tomateiros: a aplicação de um filtro vermelho/verde e a conversão para imagem em tons de cinza. Sobre cada amostra, foram realizadas contagens de pixels que se encontram dentro de faixas de

cores ou tons de cinza relevantes. O conjunto de amostras da investigação perfaz um total de 226 imagens digitais obtidas de amostras de 66 tipos diferentes de genótipos plantados em campos experimentais do setor de horticultura do Departamento de Fitotecnia do IA/UFRRJ, uma área historicamente associada com a ocorrência natural da requeima. Os genótipos incluem um cultivar comercial suscetível à doença, dois resistentes e 63 ainda sob avaliação na Universidade.

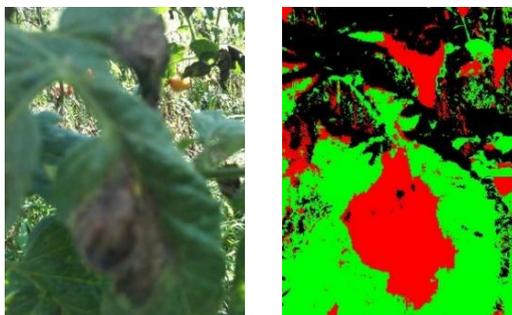


Figura 4. Exemplos de imagens de tomateiros contaminados por *P. infestans* antes e depois a filtragem vermelho/verde, extraído de Vianna e Cruz (2013, 2014).

A identificação de áreas foliares atingidas pelas requeima utiliza imagens reais coletadas no campo experimental sob iluminação solar direta. A filtragem da imagem é um procedimento que considera o princípio de que a cor da planta saudável é a verde intenso (Figura 4). Em seguida é realizada a análise do tom de cada pixel da imagem, classificando-o dentro de uma das seguintes opções: (i) um pixel é classificado como doente e será convertido para a cor vermelha (255,0,0), no sistema RGB, caso seja de um tom amarelado ou marrom, indicativos de algum tipo de lesão. (ii) um pixel é classificado como sadio e será convertido para a cor verde (0,255,0) caso seja de um tom esverdeado, podendo ir de uma matiz mais clara até um verde mais escuro; (iii) um pixel de qualquer tom diferente dos anteriores será considerado como fundo da imagem e será convertido para preto.

Os experimentos realizados por Vianna e Cruz (2013, 2014) com as imagens coletadas e pelo subsistema de redes neurais utilizaram contagens de pixels realizadas sobre as imagens digitais. Em função dessa análise, foram pré-selecionadas para o treinamento das redes neurais oito variáveis, onde cada uma contém informações sobre quantidades de pixels em uma determinada faixa de cor ou tom de cinza. A classificação final das amostras processadas por uma rede neuronal MLP, com configurações variadas, alcançaram um desempenho médio de 90% de acertos (a descrição detalhada está presente nos trabalhos supracitados). Porém, no momento, ainda estão em andamento análises mais detalhadas de desempenho e calibração dos algoritmos de treinamento e teste das redes neuronais.

6. Trabalhos Relacionados

Nosso levantamento bibliográfico não foi capaz de localizar sistemas móveis que apoiam a detecção precoce de requeima em tomateiros. No entanto, do ponto de vista da detecção inteligente já existem trabalhos relacionados. Por exemplo, Sanyal e Patel (2008) conduziram um estudo de análise de textura e cor das folhas de arroz (*Oryza sp.*) para identificação dados doenças *brown spots* e *blast diseases*. A simulação realizada pelo autor baseou-se em 400 amostras e a classificação foi realizada por uma rede MLP. Foram utilizadas imagens de folhas doentes e normais e chegou-se a um desempenho de 89,26% de acertos na classificação individual dos pixels das imagens. Camargo (2009) define um classificador baseado em uma máquina de vetor de suporte (SVM) para operar sobre as imagens coloridas de algodão

(*Gossypium sp.*). Foram utilizadas 127 imagens de culturas de algodão. O melhor modelo de classificação foi encontrado com 45 características, chegando a 93,1% de desempenho.

Vieira (2011) utilizou uma rede neural MLP para detectar as lesões ocasionadas em folhas de tomate. No entanto, suas taxas de acertos foram de apenas 77,8% na identificação de lesões por requeima. Além disso, dentre os testes conduzidos, foram utilizadas poucas amostras, apenas 9 amostras de folhas com lesões da doença de um conjunto total de 65 amostras de folhas lesionadas por três tipos diferentes de doenças. Neste estudo, existe um fator limitante quando comparado a nossa abordagem, isto é, as imagens digitais sofreram pré-processamento manual, onde o usuário delimita as manchas mais relevantes da imagem original. Além disso, não há informações sobre o tipo de cultivo associados aos tomateiros nem o processo de aquisição das imagens.

7. Conclusão

Devido à globalização da economia e a crescente necessidade de produtos agrícolas, surgiu a necessidade de se obter produções com níveis de qualidade e quantidade cada vez maiores, isso impõe à atividade agrícola novos métodos e técnicas. Concomitantemente, os mercados consumidores estão cada vez mais exigentes com relação à segurança alimentar, rastreabilidade, respeito ao meio ambiente e a saúde do trabalhador rural, barreiras sanitárias e fitossanitárias. Cada vez os produtores percebem que a tomada de decisões e uso de sistemas inteligentes é mais que uma tendência, torna-se uma questão de sobrevivência e necessidade.

Este trabalho apresentou uma abordagem computacional, em fase de finalização de desenvolvimento, mas que já apresenta resultados e ferramentas que poderão ser utilizados na agricultura familiar para detectar precocemente a requeima em tomateiros do estado do Rio de Janeiro e possivelmente aumentar a produtividade da lavoura de tomate e gerar produtos de maior valor agregado.

A principal vantagem da abordagem é contribuir para a segurança alimentar e oferecer oportunidades para os pequenos proprietários para executar suas operações de forma mais produtiva baseado em TICs e técnicas básicas de AP. Os artefatos foram projetados para utilizar equipamentos de baixo custo e garantir a facilidade de uso, pois os pequenos agricultores familiares têm pouco espaço para erros e pouca experiência em processamento digital com programas sofisticados ou mesmo o uso de técnicas de redes neurais e bancos de dados. Como trabalhos futuros serão avaliadas melhorias na integração entre os módulos do sistema com os algoritmos de processamento digital de imagens, uma vez que a qualidade dos dados de entrada é o fator de maior impacto para o desempenho de um sistema de reconhecimento baseado em RNA's.

Agradecimentos e Auxílio Financeiro

Agradecemos à FAPERJ pelo financiamento do Projeto (E-26/112.588/2012), ao CNPq e ao FNDE/MEC pelas bolsas concedidas. Agradecimentos ao Instituto de Agronomia da UFRRJ (IA/UFRRJ) e aos profs. Antônio Carlos de S. Abboud e Margarida Goréte F. do Carmo.

7. Referências Bibliográficas

- Camargo, A. e Smith, J.S., (2009) "Image Pattern Classification for the Identification of Disease Causing Agents in Plants", *Computers and Electronics in Agriculture* 66, p.121-125.

- CGI - Comitê Gestor Da Internet No Brasil (2011) “TICs domicílios e empresas 2010”. São Paulo, 2011. Disponível em <http://www.cetic.br/tic/2010/index.htm>
- Correa, F.M., Bueno Filho, J.S.S., Carmo, M.G.F (2009) “Comparação de Três diagramáticas Chaves para a quantificação da requeima em folhas de tomate”. *Plant Pathology*: vol. 58 pp 1128-1133.
- Coelho, J. P. C. e Silva, J. R. M. (2011) “Agricultura de Precisão”. Disponível em http://agrinov.ajap.pt/manuais/Manual_Agricultura_de_Precisao.pdf.
- DISQUAL (2010), “Otimização da qualidade e redução de custos na cadeia de distribuição de produtos hortofrutícolas frescos – Manual de Boas Práticas”. http://www2.esb.ucp.pt/twt/disqual/pdfs/disqual_tomate.pdf.
- Filgueira, F. A. R. (2008) “O novo manual de olericultura”, Editora da UFV. 3a edição.
- IBGE (2013) – “Brasil em números”. Disponível em: Http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2/bn_2013_v21.pdf
- MAPA (2013) Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. “Agricultura de precisão” Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília. ”. http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/Boletim%20tecnico.pdf.
- Nakano, O. (1999) “Como Pragas das hortaliças: Seu Controle e o selo verde”. *Horticultura Brasileira*, vol. 17, n.1 UnB.
- Nunes, D., Werly C., Vianna, G.K.Cruz, SMS. (2014) “Early Discovery of Tomato Foliage Diseases Based on Data Provenance and Pattern Recognition”. *Proc. Of the 5th IPAW. Cologne - Germany*.
- Quincozes, E. R. F. et al (2010), “Gestão Do Conhecimento Aplicada A Uma Organização Intensiva Em Conhecimento: O Caso Da Embrapa Clima Temperado”, *Interscience Place*, n. 3 p.123-141.
- Sanyal, P.; Patel, S. C. (2008), “Pattern recognition method to detect two diseases in rice plants” *Imaging Science Journal*, v.56, n.6, p. 319-325.
- Schwartz, C (2012) “Relações de Gênero e Apropriação de Tecnologias de Informação e Comunicação na Agricultura Familiar de Santa Maria-RS”. Tese de Doutorado – UFSM.
- Wang, N., et al. (2006) “Wireless sensors in agriculture and food industry-Recent development and Future perspective”. *Computer and Eletronics in Agriculture*, n.50, p.1-14.
- Vianna, G.K. e Cruz, S.M.S. (2013) “Análise Inteligente de Imagens Digitais no Monitoramento da Requeima dos Tomateiros”. *Anais do IX Congresso Brasileiro de Agroinformática*. Cuiabá, MT.
- Vianna, G.K. e Cruz, S.M.S. (2014) “Using Multilayer Perceptron Networks in Early Detection of Late Blight Disease in Tomato Leaves”. *Proc. of the 16th annual conference ICAI. Las Vegas, USA*.
- Vieira, F. S. et. al. (2011) “Utilização de Processamento Digital de Imagens e Redes Neurais Artificiais para Diagnosticar Doenças Fúngicas na Cultura do Tomate”. *Anais do XX Seminário de Computação*, p. 58-69.