



Extensio
UFSC

Revista Eletrônica
de Extensão

TECNOLOGIAS DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADA NA PRODUÇÃO DE NOZES PECÃ NO ALTO VALE DO ITAJAÍ - SANTA CATARINA

Denise Fernandes
Instituto Federal Catarinense
denise.fernandes@ifc.edu.br

Eduardo Bidese Puhl
Instituto Federal Catarinense
eduardo.puhl@ifc.edu.br

André da Costa
Instituto Federal Catarinense
andre.costa@ifc.edu.br

Jéssica Costa Santos
Instituto Federal Catarinense
jessicacos.san@hotmail.com

Mário Lucio Roloff
Instituto Federal Catarinense
mario.roloff@ifc.edu.br

Ricardo Kozoroski Veiga
Instituto Federal Catarinense
ricardo.veiga@ifc.edu.br

Resumo

Na fruticultura o avanço tecnológico com máquinas e sensores conectados à internet (IoT) tem possibilitado incrementos de produtividade. Para os produtores de noz pecã no Sul do Brasil, questiona-se se a irrigação está correlacionada ao aumento de produtividade dos pomares. Para responder a essa pergunta, o trabalho desenvolveu um sistema de monitoramento de umidade do solo e automação da irrigação para pomares de noqueira pecã. Como metodologia empregou-se o desenvolvimento de produtos, bem como a programação de rede de dados quanto à captação, registro e apresentação dos dados. O estudo demonstrou que produtores de noqueira pecã são carentes de informações técnicas a respeito da necessidade de irrigação ou a relação da irrigação com a produtividade de nozes. O sistema de sensoriamento de umidade do solo desenvolvido e testado encontrou melhores resultados ao utilizar o sensor capacitivo para as leituras e melhor estabilidade com a rede de automação.

Palavras-chave: Sensores; Biotecnologia Vegetal; Educação Profissional e Tecnológica; Extensão Universitária; Automação.

AUTOMATED IRRIGATION TECHNOLOGIES IN THE PRODUCTION OF PECAN NUTS IN THE ALTO VALE DO ITAJAÍ - SANTA CATARINA

Abstract

In fruit growing, technological advances with machines and sensors connected to the internet (IoT) have enabled increases in productivity. For pecan producers in southern Brazil, it is questioned whether irrigation is correlated with increased productivity in orchards. To answer this question, the work developed a soil moisture monitoring system and irrigation automation for pecan walnut orchards. The methodology used was the development of products, as well as the data network programming regarding the capture, recording and presentation of data. The study showed that pecan walnut growers lack technical information about the need for irrigation or the relationship between irrigation and nut yield. The developed and tested soil moisture sensing system found better results when using the capacitive sensor for readings and better stability with the automation network.

Keywords: Sensors; Plant Biotechnology; Professional and Technological Education; University Extension; Automation.

TECNOLOGÍAS DE RIEGO AUTOMATIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE NUECES PECÃ EN EL ALTO VALE DO ITAJAÍ - SANTA CATARINA

Resumen

En la fruticultura, los avances tecnológicos con máquinas y sensores conectados a Internet (IoT) han permitido aumentos en la productividad. Para los productores de nueces en el sur de Brasil, se cuestiona si el riego se correlaciona con una mayor productividad en los huertos. Para responder a esta pregunta, el trabajo desarrolló un sistema de monitoreo de la humedad del suelo y la automatización del riego para huertos de nueces pecanas. La metodología utilizada fue el desarrollo de productos, así como la programación de la red de datos en cuanto a la captura, registro y presentación de datos. El estudio mostró que los productores de nueces pecanas carecen de información técnica sobre la necesidad de riego o la relación entre el riego y el rendimiento de nueces. El sistema de detección de humedad del suelo desarrollado y probado encontró mejores resultados al usar el sensor capacitivo para lecturas y una mejor estabilidad con la red de automatización.

Palabras clave: Sensores; Biotecnología Vegetal; Educación Profesional y Tecnológica; Extensión Universitaria; Automatización.



INTRODUÇÃO

A agricultura em Santa Catarina desenvolve-se, principalmente, devido ao relevo, em pequenas glebas de terras. Segundo Zoldan e Mior (2012), em Santa Catarina, a economia agrícola está baseada na pequena propriedade de agricultura familiar. Dentre os desafios que enfrentam os agricultores familiares está a saída dos jovens do campo (ZOLDAN; MIOR, 2012). Isso pode ocorrer pela limitada margem de lucro tradicionalmente gerada pelos produtos. Uma consequência disso é o envelhecimento da população do meio rural.

Na região do Alto Vale do Itajaí o cenário é similar, observa-se baixa fixação de jovens no campo e migração para a cidade em busca de qualificação ou emprego. Segundo os dados do IBGE (2017), Santa Catarina é o estado com a maior produção de cebolas (*Allium cepa*) no Brasil, sendo Ituporanga o município brasileiro com maior produção anual. Também destacam-se pela grande produção de cebola os municípios de Aurora, Imbuia e Chapadão do Lageado, todas pertencentes ao Alto Vale do Itajaí. Confirma-se assim a grande dependência econômica destas cidades pela cultura da cebola. Entretanto, essa cultura apresenta grande variação de preços entre os anos agrícolas, o que resulta em baixa rentabilidade da atividade em alguns anos.

Nas últimas décadas surgiu a fruticultura como opção rentável, a exemplo da maçã que atualmente é largamente produzida na Serra Catarinense, sendo Santa Catarina a maior produtora (IBGE 2017). Porém, nos últimos anos a noqueira pecã (*Carya illinoensis*) vem sendo considerada como uma fonte alternativa de diversificação de renda ou investimento para produtores rurais, isso ocorre pela facilidade de manejo e rusticidade da cultura, além da grande demanda pelo mercado interno e externo (MOKOCHINSKI, 2015).

A Noqueira pecã é uma espécie originária dos Estados Unidos e México, foi introduzida no Brasil por volta do ano de 1915. São cultivadas no Brasil principalmente as variedades Barton, Mahan, Moneymaker, Importada, Desirable, Melhorada, Sucess e Imperial. Essas cultivares apresentam características como alta produtividade, qualidade e tamanho dos frutos, rendimento de amêndoas, porte das plantas, resistência a doenças e características fenológicas propícias ao Brasil (FRONZA *et al.*, 2015). Além das cultivares já citadas, Poletto *et al.* (2018) destacam as variedades Shawnee, Cape Fear, Cherokee, Chickasaw, Choktaw, Shoshone, Stuart e Jackson. As cultivares possuem características peculiares e podem ser discriminadas por características morfológicas, visualizadas principalmente nos frutos.

A produção mundial de noz pecã vem sofrendo um grande aumento em área plantada nos últimos 10 anos. Os Estados Unidos produzem cerca de 80% de toda demanda mundial, seguido de México, Chile, Argentina, Austrália, Israel e Brasil. No Brasil a produção da noqueira pecã situa-se entre a região do Rio Grande do Sul até São Paulo, contabilizando cerca de 4,5 mil toneladas

previstas na safra de 2021, a qual está abastecendo o mercado interno e comemora abertura do comércio internacional (EMBRAPA, 2021)

As árvores produzem nozes comestíveis que apresentam alto percentual de proteínas e óleos, este último pode ser usado também na indústria farmacêutica (MOORE, 2011). Além disso, a produção de alimentos, com alto teor nutricional, utilizando as nozes, tem sido bastante valorizada pelo mercado consumidor. Estudos apontam que o fruto apresenta elevada capacidade antioxidante e um importante conteúdo de compostos fenólicos, que podem reduzir a incidência de diversas doenças (ORTIZ, 2000).

Em Santa Catarina, na região do Alto Vale do Itajaí, cerca de 12 municípios concentram uma área de 60 hectares de noqueira pecã cultivados. Essa cultura tem potencial econômico para a região Sul do Brasil, devido ao alto valor pago em seus frutos (POLETTO *et al.*, 2015). Porém, como se trata de um novo tipo de cultivo na região, pouco se sabe sobre sua adaptabilidade e desenvolvimento, além das características do cultivo na região.

Uma das grandes necessidades dessa cultura, em termos fisiológicos, é a disponibilidade de água em fases do crescimento do fruto. As projeções futuras divulgadas pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 2019) mostram que eventos considerados extremos serão cada vez mais comuns e intensos. Além das tempestades, o principal evento que afeta a fruticultura é a estiagem. A ausência de sistemas de monitoramento climático prejudica a prevenção ou mitigação dos efeitos de tais eventos.

No ano de 2020, o estado de Santa Catarina passou pela mais severa estiagem dos últimos anos, especialmente para as regiões do Extremo Oeste, Oeste, Meio Oeste, Planalto Sul, Planalto Norte e Alto Vale do Itajaí, conforme levantamento da Epagri/Ciram/Cepa e da Secretaria da Agricultura do estado (EPAGRI, 2020). De acordo com o relatório técnico, de junho de 2019 a abril de 2020, a chuva acumulada em Santa Catarina ficou em torno de 500 mm inferior ao registrado na média histórica em 20 anos.

No cultivo da noqueira pecã no Alto Vale do Itajaí, não é conhecido a relação entre produtividade e a irrigação dos pomares, bem como a análise da viabilidade da implantação da irrigação. Vemos a automação da irrigação via sensoriamento da umidade do solo como uma ferramenta que possibilitará a construção desse conhecimento, se afirmativa a relação entre produtividade e irrigação, vemos também o sistema de sensoriamento e automação da irrigação como ferramenta a ser aplicada nos cultivos auxiliando a produtividade.

Com esse objetivo, propomos o desenvolvimento de um sistema de sensoriamento da umidade do solo com automatização da irrigação sob uma das áreas de cultivo de noqueira pecã do Grupo de Produtores de Noqueira Pecã do Alto Vale do Itajaí. O propósito do trabalho vai além do

protótipo, e busca a longo prazo relacionar os dados de umidade do solo, pluviosidade e produtividade de pomar irrigado e não irrigado, a fim de responder à questão sobre a necessidade ou indicação da implantação do sistema de irrigação para a cultura da noqueira pecã.

Dessa forma, o trabalho de pesquisa e extensão buscou produzir tecnologias da quarta revolução industrial incluindo a 'Internet das Coisas' (IoT), ao produzir um sistema de sensoriamento e automação da irrigação para favorecimento dos agricultores familiares da pecanicultura, além de desenvolver novas competências técnicas nos discentes das áreas de agronomia e engenharia mecatrônica envolvidos em atividades de ensino e de extensão, no relacionamento com a comunidade interna e externa do *campus*.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho iniciou-se com a discussão da proposta com o grupo de produtores de Nogueira Pecã do Alto Vale do Itajaí, após o grupo e os docentes participarem do II Simpósio Sul-Americano da Noz-Pecã e II Abertura Oficial da Colheita da Noz-Pecã ocorrido em Santa Maria - RS, em 2019. Nesse simpósio foi levantada em diversos trabalhos acadêmicos e palestras a necessidade de irrigação em pomares de Nogueira Pecã situados em outros países.

Devido ao desconhecimento dos benefícios ou necessidades da irrigação nos pomares catarinenses ou do Alto Vale do Itajaí, propomos realizar um estudo para averiguar essa necessidade, o qual foi bem aceito pelo grupo.

Em termos metodológicos, o trabalho foi dividido em duas etapas: a primeira etapa caracterizou-se pela etapa de pesquisa, onde ocorreu a pesquisa agrônômica e da engenharia mecatrônica, as quais abordaram sobre a necessidade de irrigação em noqueira pecã e a pesquisa para o desenvolvimento de sensores e da programação da rede de dados. A segunda etapa caracterizou-se pelo Dia de Campo com a apresentação de palestra abordando dados acadêmicos sobre os ganhos em produção e fitossanidade em pomares irrigados e a pesquisa sobre a produção do sistema de sensores para serem aplicados nos pomares de noqueira pecã, com a possibilidade de analisar a umidade do solo e realizar a automação da irrigação. Nesse Dia de Campo também ocorreram outras palestras de convidados, a citar o controle de formigas, a homeopatia aplicada em fruticultura e sistemas de poda verde em pomares em formação.

O experimento de produção dos sensores e programação foi realizado no laboratório do Grupo INOVA na Unidade Tecnológica do IFC *campus* Rio do Sul, a calibração dos sensores foi realizada no Laboratório de Física do Solo do Instituto Federal Catarinense, *campus* Rio do Sul, ambos no ano de 2019.

O Dia de Campo envolvendo os discentes do projeto, professores do IFC, extensionistas da Epagri Rio do Sul / SC e Grupo de Produtores de Nogueira Pecã do Alto Vale do Itajaí, ocorreu em novembro de 2019, na propriedade de um dos agricultores do Grupo na cidade de Presidente Getúlio no Alto Vale do Itajaí.

Desenvolvimento e calibração de sensores

O experimento de calibração dos sensores foi realizado no Laboratório de Física do Solo do Instituto Federal Catarinense, *campus* Rio do Sul, localizada no Alto Vale do Itajaí do estado de Santa Catarina. Foi utilizado no experimento um substrato comercial para plantas florestais da empresa Turfa Fértil®. O substrato Turfa Fértil® Florestal CP composto de turfa de casca de pinus (CP), e aditivado com fertilizantes minerais e com calcário calcítico.

As principais características técnicas do substrato Turfa Fértil® Florestal CP são:

- i) Condutividade elétrica = $1,5 \pm 0,3$ mS/cm;
- ii) Densidade em base seca = $280,0$ kg/m³;
- iii) Potencial de hidrogênio (pH) = $5,5 \pm 0,5$;
- iv) Umidade máxima (peso/peso) = $55,0$ %;
- v) Capacidade de retenção de água (CRA) = $57,0$ % (peso/peso).

Estudos dos atributos físicos do substrato

Para determinação da densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, utilizou-se o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). Esses dados se fazem necessário para a quantificação da umidade do solo na capacidade de campo, a fim de correlacionar a leitura numérica obtida pelo sensor a um percentual calculado de água presente.

Utilizaram-se anéis com dimensões de 4,8 cm de diâmetro interno e 5,3 cm de altura totalizando 95,9 cm³ de volume interno. Estes foram preenchidos com amostras do substrato na umidade existente no momento da abertura da embalagem (aproximadamente 55%) com uma leve compactação para acomodar o substrato no cilindro metálico.

Em seguida, essas amostras foram saturadas com água por um período de 72 horas e posteriormente submetidas à pesagem para determinação da porosidade total do substrato. Após, foram levadas para a mesa de tensão e submetidas a uma tensão de 6 kPa por um período de 120 horas, seguida da pesagem das amostras para determinação da macroporosidade. Então, as amostras foram secas em estufa a 105°C por um período de 72 horas para obtenção da microporosidade do substrato. Após a montagem dos anéis e posterior secagem em estufa do mesmo obteve-se a densidade do solo por meio da seguinte equação:

$$\text{Densidade do solo (g.cm}^{-3}\text{)} = \text{massa solo seco (g)} / \text{volume do cilindro (cm}^3\text{)}.$$

Montagem dos sensores e do sistema de aquisição de dados

O desenvolvimento dos sensores utilizou a plataforma de código aberto Arduino. Esta plataforma é conhecida internacionalmente por oferecer soluções de hardware e software que podem ser integradas e adaptadas de acordo com a necessidade do projeto. Neste sentido, o sistema desenvolvido utilizou placas de prototipagem, sensores e códigos disponíveis na internet. Estes componentes foram integrados e adaptados formando uma plataforma de testes e calibração dos sensores.

A Figura 1 apresenta a topologia do sistema desenvolvido. Nesta topologia os sensores são conectados ao microcontrolador, e por meio de uma porta USB conectado ao computador para envio das medições. Com a ajuda de um aplicativo as medições são armazenadas em um software de planilhas.

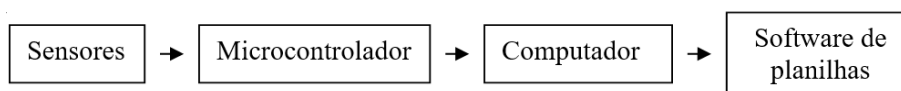


Figura 1: Topologia de sistema de sensores para monitoramento de umidade do solo para emprego em pomares na produção da Noz Pecã no Alto vale do Itajaí/SC/Brasil. Fonte: Autores, 2019.

A Figura 2 apresenta os componentes eletroeletrônicos utilizados. O sistema foi composto por sensores resistivos e capacitivos, e placa de desenvolvimento microcontrolada. Esta placa opera obedecendo a um (código) na linguagem C++. O código utilizado determina que as leituras sejam realizadas de forma simultânea pelos seis sensores instalados, e que sejam repetidas as leituras a cada 5 segundos. A alimentação do hardware foi realizada por meio da porta USB 5v do computador utilizado para programação e monitoramento do sistema. Os valores lidos de resistividade e capacitância foram salvos em planilhas eletrônicas. No estudo de calibração foram utilizados três sensores resistivos modelo YL-69 (Figura 2b), que medem a resistividade elétrica do solo e três sensores capacitivos modelo V1.2 (Figura 2c), que medem a alteração da capacitância a partir da umidade do solo.



Figura 2: Componentes eletrônicos a serem analisados para a pesquisa de desenvolvimento de produto - sistema de sensoriamento de umidade do solo. Microcontrolador Arduino (a), sensor resistivo modelo YL-69 (b) sensor capacitivo modelo V1.2 (c). Fonte: Autores, 2019

Ensaio de Calibração

Com o sistema previamente montado e programado, e as amostras do substrato secas e acondicionadas nos vasos plásticos com capacidade volumétrica para 3,5 litros de substrato, o próximo passo foi a realização das leituras por valor de umidade do solo. Os sensores, modelo YL-69 e V1.2 foram avaliados separadamente, pois, observou-se que devido ao tamanho do vaso utilizado, quando os seis sensores eram avaliados simultaneamente no mesmo vaso, ocorria uma interferência dos valores lidos dos sensores. Assim, após algumas averiguações em relação à interferência dos sensores quanto a sua proximidade no vaso, observou-se que os três sensores resistivos poderiam ser avaliados em conjunto no mesmo vaso e momento, quando inseridos no sentido vertical, bem como esse procedimento também poderia ser utilizado para os três sensores capacitivos, no mesmo sentido de inserção no substrato.

Em um primeiro momento, os sensores capacitivos foram inseridos um a um nas amostras no sentido vertical (Figura 3), e após isso o sistema foi acionado. Após 3 minutos (tempo necessário para estabilização das leituras), foram registradas as leituras correspondentes a 0% de umidade, tendo em vista que toda a umidade residual das amostras foi previamente removida em estufa de secagem com ventilação forçada a 65°C.

Os sensores permaneceram ligados por um período de 200 segundos para obtenção de 40 medidas em cada sensor que posteriormente resultaram num valor médio de leitura por sensor. Após a avaliação dos sensores capacitivos, esses foram removidos do vaso, sendo então avaliados os sensores resistivos utilizando a mesma metodologia descrita para os sensores capacitivos.



Figura 3: Teste dos sensores capacitivos e resistivos em substrato quanto ao funcionamento e percepção das quantidades controladas e conhecidas de umidade do solo. Fonte: Autores, 2019.

Em seguida, com auxílio de uma balança de precisão, foi adicionada uma massa de água na amostra utilizando um borrifador até que a umidade gravimétrica atingisse de 5%, conforme os cálculos feitos previamente considerando a massa de substrato acondicionada nos vasos plásticos. Após a aplicação da água, a amostra foi homogeneizada e acondicionada em um recipiente fechado hermeticamente por um período de 24 horas para possibilitar que a umidade do substrato fosse homogeneizada em todo o recipiente e o efeito da hidrorrepelência pelas partículas de matéria orgânica fosse reduzido. Após esse período, os sensores foram instalados no vaso com substrato e o sistema foi acionado, havendo a fase de estabilização das leituras (aproximadamente 3 minutos) e a fase de registro das 40 leituras em cada tipo de sensor correspondente a 5% de umidade gravimétrica do solo, que foram salvas em planilhas eletrônicas.

O procedimento acima descrito foi realizado de modo similar para as umidades gravimétricas do substrato equivalentes a 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 e 100% de umidade gravimétrica do substrato, sempre realizando inserção no substrato e leitura dos três sensores capacitivos num primeiro momento, e na sequência a inserção no substrato e leitura dos três sensores resistivos. Além desses pontos de umidade gravimétrica, também foi realizada a leitura dos sensores com o vaso contendo somente água e com o recipiente contendo água e substrato no ponto de saturação de umidade volumétrica do substrato.

Análise estatística dos dados

Os dados de umidade gravimétrica e leitura dos sensores de umidade do solo foram ajustadas por equações lineares ou quadráticas utilizando análise de regressão. A análise foi realizada utilizando os procedimentos estatísticos PROC REG do programa estatístico SAS version 9.1

(STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 2003).

Dia de Campo

Foi planejado um momento de interação entre os discentes e docentes envolvidos no projeto e os pecanicultores, momento esse que ocorreu em uma das reuniões trimestrais de alinhamento das atividades do Grupo de Produtores de Nogueira Pecã, em parceria com a Extensão Agrícola da Epagri - Rio do Sul.

O dia de campo ocorreu em 23 de novembro de 2019, com início às 8h e finalização às 18h.

O principal objetivo do dia de campo foi compartilhar conhecimentos relacionados aos tratos culturais da noqueira pecã em resposta aos problemas enfrentados pelos produtores, e socializar os resultados obtidos até então no desenvolvimento do sistema de sensoriamento e automação da irrigação pesquisas.

O encontro foi planejado da seguinte forma:

1- Abertura – Presidente do Grupo de Nogueira Pecã e agrônomo extensionista da Epagri - Rio do Sul e professores do IFC - campus Rio do Sul.

2- Palestra – Palestra Irrigação em espécies florestais - Impactos sobre a produtividade em Nogueira pecã.

3- Palestra – Tecnologias para irrigação automatizada - Projeto Agro 4.0 e demais tecnologias do Grupo INOVA IFC.

4- Palestra – Prevenção e controle de formigas

Recesso para almoço

5- Atividade a campo – Técnicas de poda verde em Nogueira pecã

6- Café com papo – Momento de interação entre os produtores, extensionistas e professores

Encerramento.

RESULTADOS E ANÁLISES

Sensores

Através de testes com os sensores de umidade e luminosidade integrados à interface web, foi possível realizar o monitoramento através de gráficos gerados em tempo real, conforme Figura 4.



Figura 4: Gráfico apresentado pelo programa durante o monitoramento da umidade do solo em tempo real através dos sensores, dados captados durante um minuto de monitoramento. Fonte: Autores, 2019

A calibração dos sensores, analisando-se os dados da Tabela 1, apontou que a porosidade total foi de $0,78 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a macroporosidade foi de $0,41 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, e a microporosidade foi de $0,37 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Os valores de porosidade total e macroporosidade podem ser considerados elevados quando comparados aos valores observados em análises de solos, contudo, por se tratar de um substrato, estão dentro de uma faixa de valores aceitáveis e comuns para substratos comerciais. Quanto à densidade do substrato, o valor médio do substrato foi de $0,52 \text{ g cm}^{-3}$, valor acima da referência indicada pelo fabricante do produto ($0,28 \text{ g cm}^{-3}$), mas aceitável, se considerar que o substrato foi colocado úmido nos cilindros e que foi realizada uma leve compactação do mesmo para melhor acomodação de suas partículas no cilindro.

Tabela 1. Principais atributos físicos do substrato Turfa Fértil® Florestal CP. Rio do Sul, 2019.

Atributo	Unidade	Média	Coefficiente de variação
Porosidade total	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	0,78	1,3%
Macroporosidade	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	0,41	3,8%
Microporosidade	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	0,37	2,6%
Densidade do substrato	g cm^{-3}	0,52	5,1%
Umidade gravimétrica na microporosidade	g g^{-1}	0,72	5,8%

Fonte: dados dos autores, 2019

Após a análise dos atributos físicos, foi realizada a avaliação dos dois sensores em diferentes teores de umidade do substrato, sendo possível gerar os gráficos demonstrados nas Figuras 5 e 6.

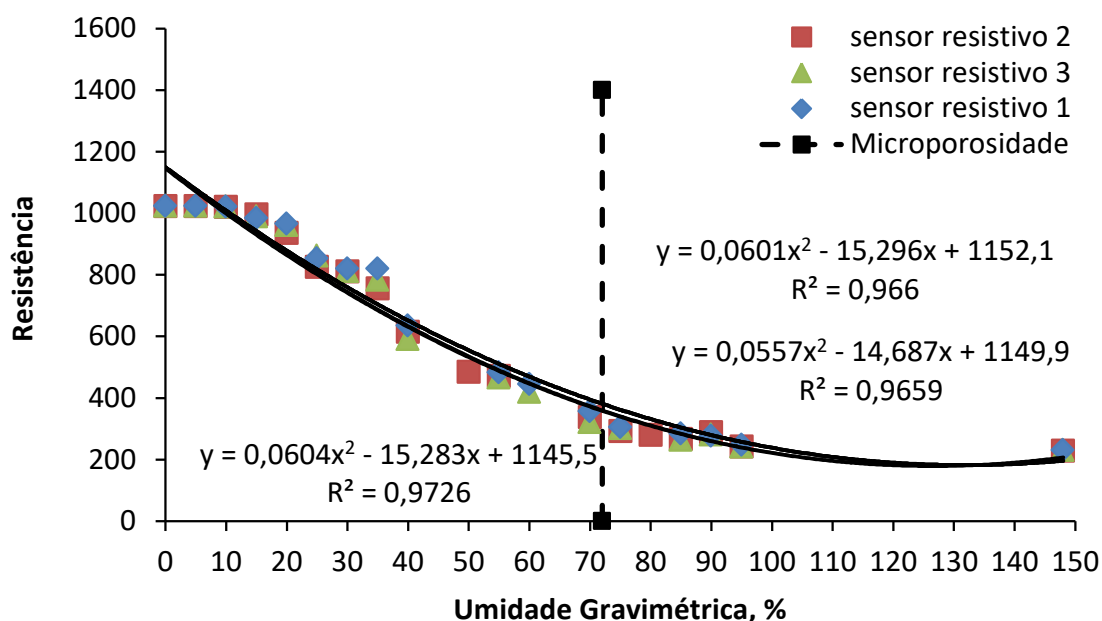


Figura 5: Valores de resistência obtidos nos três sensores do tipo resistivo, modelo YL-69 em diferentes teores de umidade do substrato Turfa Fértil® Florestal CP. Rio do Sul, 2019. Fonte: Autores, 2019.

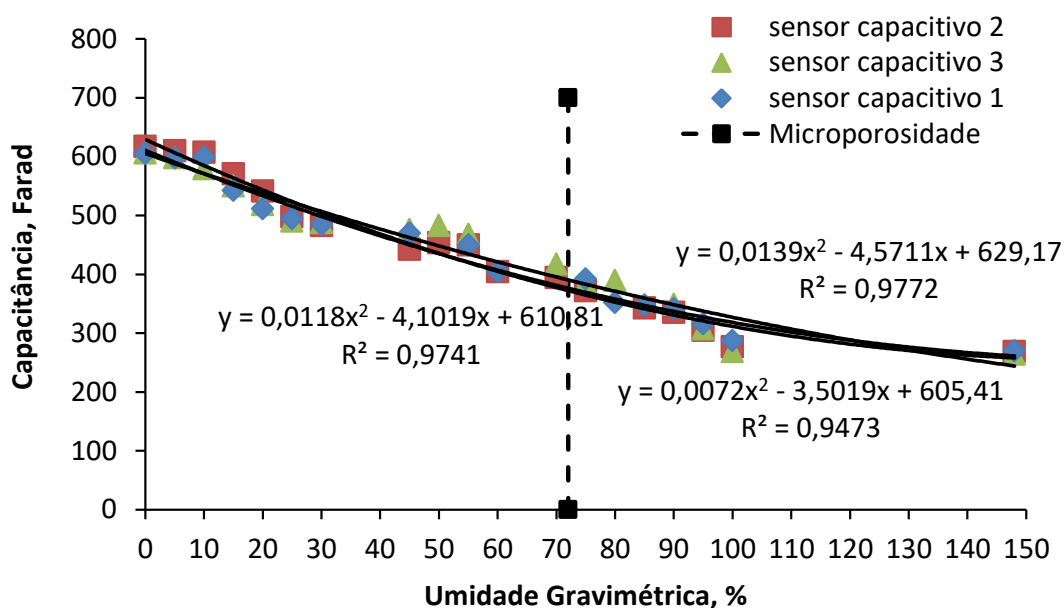


Figura 6: Valores de resistência obtidos nos três sensores do tipo e do tipo capacitivo, modelo V1.2., em diferentes teores de umidade do substrato Turfa Fértil® Florestal CP. Rio do Sul, 2019. Fonte: Autores 2019.

Analisando-se a relação entre os valores lidos de resistência e os diferentes teores de umidade do substrato, observou-se que os valores lidos em cada teor de umidade foram muito semelhantes entre os três sensores resistivos avaliados (Figura 5) e entre os três sensores capacitivos (Figura 6), indicando que, independentemente do tipo de sensor escolhido, a repetibilidade dos sensores foi satisfatória.

A partir de um sensor é possível fazer uma curva de calibração para um determinado tipo

de substrato e então utilizar vários outros sensores do mesmo modelo, caso seja necessário. Ainda em relação à acurácia das equações de regressão ajustadas, obteve-se um coeficiente de determinação elevado, igual ou acima de 0,95 para as equações do tipo polinômio de segundo grau nos dois tipos de sensores avaliados. Esses valores elevados observados no coeficiente de determinação indicam que existe uma elevada correlação entre os valores lidos de capacitância ou resistência, e a umidade gravimétrica do substrato avaliado.

Pode-se afirmar que os sensores de umidade do solo do tipo capacitivo ou resistivo podem ser utilizados com boa precisão para estimativa da umidade do substrato desde um elevado até um baixo teor de umidade.

Nos dois tipos de sensores, a alteração dos valores lidos de resistência ou capacitância com a alteração da umidade do substrato é menor nos valores dos dois extremos da curva, indicando que os sensores têm uma menor sensibilidade na leitura de substratos muito secos ou muito úmidos (próximo à saturação com água). Considerando que a faixa de umidade ótima para a maioria das plantas cultivadas não se encontra nos valores extremos de umidade, pois, se localizam próximo da parte central da curva ajustada, os sensores de umidade do solo conseguirão indicar o momento ideal de repor água no substrato para que ocorra um bom crescimento da espécie cultivada.

Dia de Campo

O evento foi realizado dia 23 de novembro de 2019, organizado em conjunto com a Epagri e com apoio do presidente do Grupo de Produtores de Nogueira Pecã do Alto Vale do Itajaí. Um dos membros do grupo recebeu os produtores e equipes da Epagri e IFC em sua propriedade produtora. Iniciamos o Encontro com uma abertura contendo o Presidente do Grupo de Produtores de Nogueira Pecã, o agrônomo extensionista da Epagri os professores do IFC e o anfitrião do encontro, o qual gentilmente recebeu a todos em sua propriedade rural contendo pomar de Nogueira pecã.

Na sequência, ocorreu a palestra realizada por uma discente de Agronomia com as atuais informações sobre Tecnologias aplicadas à irrigação utilizadas mundialmente para a cultura da Nogueira pecã, bem como os impactos na produção e sanidade das plantas em áreas irrigadas. O encontro deu sequência com o professor de Engenharia Mecatrônica que apresentou a tecnologia do projeto Agro 4.0, tecnologia essa que supera em utilidade e facilidade as tecnologias hoje aplicadas para a cultura. O professor apresentou a montagem dos sensores de umidade e formas de serem instalados bem como a captação e registro de dados e possíveis programações. Apresentou ainda outros projetos em andamento que poderiam ser de interesse dos produtores

rurais. Após as duas apresentações, um ciclo de perguntas deixou clara a pressa dos produtores em adquirir e implantar a tecnologia.

O evento seguiu com palestra sobre controle de formigas realizado pelo agrônomo presidente da ONG CEMEAR (Centro de Motivação Ecológica Alternativas Rurais) e palestra sobre o uso da homeopatia no controle de formigas pela professora de Agroecologia do IFC. O momento matutino foi reservado para as palestras e apreciado pelos agricultores.

Após o recesso para o almoço o grupo realizou atividade a campo com o treinamento sobre poda verde, realizado pelo agrônomo extensionista da Epagri, seguido por um momento de socialização e após o encerramento.

Atividades Futuras

Com a apresentação do projeto na nossa atual fase de desenvolvimento, firmamos a parceria com um dos produtores de noqueira pecã, que se dispôs ceder uma área produtora e investir em material de irrigação (mangueiras, aspersores e bombas) para aplicar a tecnologia de sensores e automação da irrigação.

Essa parceria possibilitará que o projeto atinja seus objetivos finais, os quais são: a caracterização da região do Alto Vale do Itajaí quanto ao aumento de produtividade, ou não, com a irrigação na produção de noqueira pecã, e, ainda, consolidar o protótipo de sensoriamento de umidade do solo e automação de irrigação a campo.

Essa parceria possibilitará que o projeto de automação ganhe publicidade em meio aos produtores da região do Alto Vale do Itajaí e quantificações de produtividade sejam realizadas a campo com a cultura da noqueira pecã sob irrigação monitorada e automatizada.

O projeto tem potencial para gerar produtos com possibilidade de registro de patente de invenção, bem como parcerias com empresas públicas e privadas no fornecimento de serviços e de assistência técnica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existem ainda muitos desafios para o cultivo da noqueira pecã na Região do Alto Vale do Itajaí, visto que informações relacionadas à adaptabilidade da cultura na região são escassas, o que demanda extensa participação da comunidade acadêmica e profissional.

A pesquisa contribuiu para o desenvolvimento científico e tecnológico, uma vez que criou uma ferramenta que poderá responder sobre as necessidades hídricas do cultivo e produtividade de Noqueira Pecã no Alto Vale do Itajaí e, assim, minimizar problemas relacionados ao cultivo de

uma nova cultura que está em fase de implantação na região.

Verificamos que o sensor capacitivo é mais adequado para as leituras de umidade de solo, bem como mais eficiente em redes de automação, ele se apresenta, ainda, mais duradouro e resistente à corrosão quando comparado ao sensor resistivo.

Os sensores foram construídos em uma primeira versão, testados quanto à sua funcionalidade na leitura da umidade do solo. Verificou-se também a interface de comunicação entre os sensores e o envio de dados via sistema remoto, monitoramento e armazenamento de dados em tempo real.

Neste contexto, como já citado, outra contribuição desta proposta é a possibilidade criação de uma rede de monitoramento de microclima, que traria mais segurança nas tomadas de decisão dos produtores, como o melhor momento para irrigação, pulverização ou podas, servindo para toda fruticultura, além da pecanicultura.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal Catarinense pelo apoio financeiro e disponibilização de bolsas de extensão e pesquisa para o fortalecimento dos Arranjos Produtivos Locais. Também aos docentes e alunos do Grupo de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em Mecatrônica (INOVA), em especial aos bolsistas Lucas Gauer, João Vitor e Rafael Girardi. Fazemos aqui um agradecimento especial ao extensionista Eng. Agrº. Glauco Henrique Lindner da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de SC (EPAGRI), ao presidente do Grupo de Produtores de Nogueira Pecã do Alto Vale do Itajaí, Sr. Auri José de Oliveira. Também somos gratos ao Dr. Walter Camacho por disponibilizar sua propriedade e pomar de nogueiras pecã para o dia de campo.

REFERÊNCIAS

DUARTE, V.; ORTIZ, E. R. N. Podridão de Phytophthora da amêndoa e casca da Nogueira pecan. In: LUZ, E. D. M. N.; SANTOS, A. F.; MATSUOKA, K.; BEZERRA, J. L. **Doenças causadas por Phytophthora no Brasil**. Livraria Rural, Campinas, 2001. p. 493-508.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Brasília, 1997. 212p.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Secretaria da Agricultura acompanha impactos da estiagem em SC**. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2020/04/23/secretaria-da-agricultura-acompanha-impactos-da-estiagem-em-sc/>. Acesso em 28 mai. 2020.

FILIPPIN, I. L. **Viabilidade econômica do cultivo de noqueira pecã em áreas de reserva legal e de preservação permanente**. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado Ciência e Tecnologia de Sementes) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

FRONZA, D.; POLETTO, T.; HAMANN, J. J. **O cultivo da noqueira-pecã**. 2015 1. ed. p. 301. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Núcleo de fruticultura Irrigada.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2017**: Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 98 p.

MOKOCHINSKI, F. M. **Estimativa de produção, caracterização física e perfil químico de amêndoas de noqueira-pecã**. 2015, p. 66, Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Centro-Oeste.

MOORE, L. M. **Pecan**. National Plant data Center. Baton Rouge, Louisiana, 2011. Disponível em: https://plants.usda.gov/plantguide/pdf/cs_cail2.pdf. Acesso em: 12 ago. 2017.

ORTIZ, E. R.N. **Propriedades nutritivas e nutracêuticas das nozes**. 2000. 42 p. Monografia (Especialização em Tecnologia de Alimentos) – Universidade de Santa Cruz do Sul. Santa Cruz do Sul, 2000.

PAINEL GOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (IPCC, sigla em inglês). Relatórios. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf> . Acesso em 19 de abril de 2020.

POLETTO, T. ; FANTINEL, V. S. ; MUNIZ, M. F. B. ; DUTRA, A. F. . Tamanho de amostra para caracterização de frutos de carya illinoensis. **Agropecuária Científica no semi-árido** , v. 14, p. 103-107, 2018.

POLETTO, T.; MUNIZ, M. F. B.; POLETTO, I.; BAGGIOTO, C. Métodos de superação de dormência da semente de noqueira-pecã Carya illinoensis (Wangenh) K. Koch. **Revista Árvore**, vol. 39, n. 6, 2015. Universidade Federal de Viçosa.

SAS Institute Inc. 2002-2003. Statistical analysis system. Release 9.1. (Software). Cary. USA.

ZOLDAN, P.C.; MIOR, L.C. **Produção orgânica na agricultura familiar de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2012. 94 p.

Recebido em: 01/06/2020

Aceito em: 14/12/2021