

Desenvolvimento de Pesquisa Científica na **Agricultura Irrigada**

Leonardo Tullio
(Organizador)



Desenvolvimento de Pesquisa Científica na **Agricultura Irrigada**

Leonardo Tullio
(Organizador)



Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena

Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

- Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

- Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Alborno – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão

Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Desenvolvimento de pesquisa científica na agricultura irrigada

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Luiza Alves Batista
Correção: Emely Guarez
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Leonardo Tullio

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D451 Desenvolvimento de pesquisa científica na agricultura irrigada / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-488-7

DOI 10.22533/at.ed.887202810

1. Irrigação agrícola. 2. Agricultura Irrigada. I. Tullio, Leonardo (Organizador). II. Título.

CDD 651.587

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Na agricultura moderna o uso racional dos insumos é sem dúvida a maneira mais eficiente de produzir com qualidade. As constantes mudanças climáticas afetam a disponibilidade de nutrientes e água para as plantas, o que dificulta o seu estabelecimento e produtividade. Sendo o recurso hídrico o fator limitante que mais afeta o crescimento e desenvolvimento das culturas.

A pesquisa tenta solucionar ou apresentar resultados que minimizem os efeitos negativos do estresse hídrico para as plantas, porém constantemente os fatores ambientais desencadeiam sérios problemas. Neste sentido, buscamos neste livro apresentar alguns resultados dos estudos que envolvem o manejo da irrigação bem como métodos para uma melhor eficiência do uso da irrigação.

Algumas regiões onde o clima é seco dependem de um sistema de irrigação para o desenvolvimento, porém com a demanda crescente por alimentos e a escassez das chuvas fazem a agricultura pensar em métodos que aproveitem melhor a água. Os sistemas de irrigação mais modernos procuram solucionar estes problemas, assim utilizando de maneira eficiente. Irrigar a mais, nem sempre é sinônimo de eficiência produtiva, mas sim pode trazer sérios problemas com lixiviação de nutrientes e baixa produtividade. Ao contrário, a falta de água e um excesso de nutrientes pode levar a salinização e prejudicar o desenvolvimento das raízes e da planta.

Espero que as pesquisas apresentadas neste livro possam contribuir de maneira eficiente frente aos problemas de falta de água, bem como opção para futuras pesquisas.

Boa leitura e bons estudos.

Leonardo Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

IMPACTO NO DESENVOLVIMENTO RURAL: O CASO DA MELANCIA IRRIGADA POR GOTEJAMENTO NO PROJETO CHESF

José Maria Pinto

Jony E. Yuri

Nivaldo D. Costa

Rebert Coelho Correia

Marcelo Calgaro

DOI 10.22533/at.ed.8872028101

CAPÍTULO 2..... 6

EVOLUÇÃO DA ÁREA DE AGRICULTURA IRRIGADA NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL NAS ÚLTIMAS DÉCADAS

Sérgio Luiz Aguilar Levien

Vladimir Batista Figueirêdo

Luiz Eduardo Vieira de Arruda

DOI 10.22533/at.ed.8872028102

CAPÍTULO 3..... 20

ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PELO MÉTODO DE HARGREAVES-SAMANI ATRAVÉS DE UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BAIXO CUSTO

Tháís Rayane Gomes da Silva

Marcelo Rodrigues Barbosa Júnior

Rony de Holanda Costa

Laylton de Albuquerque Santos

Samuel Barbosa Tavares dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.8872028103

CAPÍTULO 4..... 26

AVALIAÇÃO DE UM ALTÍMETRO PARA FINS DE IRRIGAÇÃO

Marcelo Carazo Castro

Jean Santiago Sabença Esteves

Larissa Nunes Pereira Leite

DOI 10.22533/at.ed.8872028104

CAPÍTULO 5..... 32

MÉTODO PARA PROJETAR LINHAS LATERAIS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO PAREADAS EM TERRENOS COM INCLINAÇÃO UNIFORME

Leonardo Leite de Melo

Verônica Gaspar Martins Leite de Melo

José Antônio Frizzone

Patrícia Algélica Alves Marques

DOI 10.22533/at.ed.8872028105

CAPÍTULO 6..... 46

HIDRÁULICA DE TUBOS GOTEJADORES COM EMISSORES CILÍNDRICOS

Verônica Gaspar Martins Leite de Melo

Leonardo Leite de Melo

José Antônio Frizzone

Antonio Pires de Camargo

DOI 10.22533/at.ed.8872028106

CAPÍTULO 7..... 56

SISTEMA LISIMÉTRICO DE INFORMAÇÕES PARA MONITORAMENTO DO CONSUMO DE ÁGUA PELAS PLANTAS (SLIMCAP)

Márcio Aurélio Lins dos Santos

Laylton de Albuquerque Santos

Ariovaldo Antônio Tadeu Lucas

Raimundo Rodrigues Gomes Filho

Daniella Pereira dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.8872028107

CAPÍTULO 8..... 66

COMPARAÇÃO DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PELOS MÉTODOS PENMAN-MONTEITH FAO 56 E JENSEN-HAISE

Ugo Leonardo Rodrigues Machado

Giordanio Bruno Silva Oliveira

Kadidja Meyre Bessa Simão

Liherberto Ferreira Dos Santos

Ana Luzia Medeiros Luz Espínola

José Espínola Sobrinho

DOI 10.22533/at.ed.8872028108

CAPÍTULO 9..... 77

CORREÇÃO DA EQUAÇÃO DE HARGREAVES-SAMANI PARA ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA UTILIZANDO O SUPLEMENTO SOLVER DA MICROSOFT EXCEL

Thaís Rayane Gomes da Silva

Marcelo Rodrigues Barbosa Júnior

Rony de Holanda Costa

Laylton de Albuquerque Santos

Samuel Barbosa Tavares dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.8872028109

CAPÍTULO 10..... 82

ANÁLISE DA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DO CAPIM-CARRAPICHO (*Cenchrus echinatus* L.) EM FUNÇÃO DA SALINIDADE E TEMPERATURA

Natália Morena Fernandes Soltys

Oriel Herrera Bonilla

Francisca Raiane Machado da Cruz

Sarah Carvalho Farias

Joel Wirlo Brasileiro Lima

Jéssica Carvalho Horta

DOI 10.22533/at.ed.88720281010

CAPÍTULO 11..... 88

EFEITO SALINO NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne

Sandro Ferreira do Nascimento

Oriel Herrera Bonilla

José Vagner Rebouças Filho

Francisca Raiane Machado da Cruz

Hamanda Brandão Pinheiro

Joel Wirlo Brasileiro Lima

DOI 10.22533/at.ed.88720281011

CAPÍTULO 12..... 94

EXIGÊNCIA NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA A SALINIDADE

Raquele Mendes de Lira

Ênio Farias de França e Silva

Alexandre Nascimento dos Santos

Edimir Xavier Leal Ferraz

Adiel Felipe da Silva Cruz

Antônio Henrique Cardoso do Nascimento

José Edson Florentino de Moraes

DOI 10.22533/at.ed.88720281012

CAPÍTULO 13..... 100

EFEITO DA SALINIDADE NA GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE MUDAS DE *Macroptilium lathyroides* (L.) Urb

Ivina Beatriz Menezes Farias

Oriel Herrera Bonilla

Natália Morena Fernandes Soltys

Francisca Renata Alves de Lima

Sarah Carvalho de Farias

Cicero Matheus Borges Lucena

DOI 10.22533/at.ed.88720281013

CAPÍTULO 14..... 111

CRESCIMENTO RADICULAR EM SEMENTES DE *Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne SUBMETIDAS À SALINIDADE

Sandro Ferreira do Nascimento

Oriel Herrera Bonilla

Hamanda Brandão Pinheiro

José Vagner Rebouças Filho

Cicero Matheus Borges Lucena

Rayane Gomes da Silva

DOI 10.22533/at.ed.88720281014

CAPÍTULO 15.....	117
CRESCIMENTO DE MUDAS DE <i>Vigna luteola</i> (Jacq.) Benth. SUBMETIDAS A SALINIDADE	
Ivina Beatriz Menezes Farias	
Oriel Herrera Bonilla	
Claudivan Feitosa de Lacerda	
Natália Morena Fernandes Soltys	
Francisca Renata Alves de Lima	
Francisca Raiane Machado da Cruz	
DOI 10.22533/at.ed.88720281015	
CAPÍTULO 16.....	124
EVOLUÇÃO DA ÁREA DE AGRICULTURA IRRIGADA NA REGIÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO NAS ÚLTIMAS DÉCADAS	
Sérgio Luiz Aguilar Levien	
Vladimir Batista Figueirêdo	
Luiz Eduardo Vieira de Arruda	
DOI 10.22533/at.ed.88720281016	
CAPÍTULO 17.....	138
DEMANDA HÍDRICA DA CULTURA DO ABACAXI CULTIVAR PÉROLA NO AGRESTE ALAGOANO	
Tháís Rayane Gomes da Silva	
Marcelo Rodrigues Barbosa Júnior	
Floriano Alcantara Damasceno	
Luis Felipe Ferreira Costa	
Samuel Barbosa Tavares dos Santos	
Márcio Aurélio Lins dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.88720281017	
CAPÍTULO 18.....	144
MELÃO IRRIGADO POR GOTEJAMENTO CULTIVADO EM FILEIRAS SIMPLES E DUPLA	
José Maria Pinto	
Jony E. Yuri	
Marcelo Calgare	
Rebert Coelho Correia	
DOI 10.22533/at.ed.88720281018	
CAPÍTULO 19.....	149
PRODUÇÃO E CRESCIMENTO DA ABÓBORA SUBMETIDA A DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO USANDO SISTEMA AUTOMÁTICO	
Clinton Gonçalves Moreira	
Vladimir Batista Figueirêdo	
Fernando Caio de Freitas Aquino	
Sérgio Luiz Aguilar Levien	
Ugo Leonardo Rodrigues Machado	
DOI 10.22533/at.ed.88720281019	

CAPÍTULO 20.....	157
TRANSPIRAÇÃO EM MELOEIRO COM USO DE SENSORES DE FLUXO POR DISSIPAÇÃO TÉRMICA	
Nicolly Kalliliny Cavalcanti Silva	
Vladimir Batista Figueirêdo	
Alberto Colombo	
Ana Luiza Veras de Souza	
Ugo Leonardo Rodrigues Machado	
DOI 10.22533/at.ed.88720281020	
CAPÍTULO 21.....	167
BIOMASSA DE CANA-DE-AÇÚCAR E POTENCIALIDADE DE CANA-ENERGIA	
Tamara Rocha dos Santos	
Eliana Paula Fernandes Brasil	
Wilson Mozena Leandro	
Aline Assis Cardoso	
Márcio da Silva Santos	
Maryllia Karolyne De Sousa Fernandes	
Larissa Gabriela Marinho da Silva	
Raysa Marques Cardoso	
Caio Cesar Magalhães Borges	
Rafaela Shaiane Marques Garcia	
DOI 10.22533/at.ed.88720281021	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	176
ÍNDICE REMISSIVO.....	177

MÉTODO PARA PROJETAR LINHAS LATERAIS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO PAREADAS EM TERRENOS COM INCLINAÇÃO UNIFORME

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 02/07/2020

Leonardo Leite de Melo

Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Sistemas Agrícolas – ESALQ/ USP
Piracicaba -SP
<http://lattes.cnpq.br/8226386907565166>

Verônica Gaspar Martins Leite de Melo

Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Sistemas Agrícolas – ESALQ/ USP
Piracicaba - SP
<http://lattes.cnpq.br/5461315063608561>

José Antônio Frizzone

Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Sistemas Agrícolas – ESALQ/ USP
Piracicaba - SP
<http://lattes.cnpq.br/1938995897164854>

Patrícia Algélica Alves Marques

Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Sistemas Agrícolas – ESALQ/ USP
Piracicaba - SP
<http://lattes.cnpq.br/1990096599365003>

RESUMO: Neste estudo, desenvolveu-se um método aproximado para projetar linhas laterais de irrigação por gotejamento pareadas em terrenos com declive uniforme, que satisfazem uma uniformidade de aplicação de água requerida, usando a abordagem da linha do gradiente de energia, com base na definição da posição ótima da linha de derivação (BSP). O princípio é que se igualem as pressões mínimas na linha lateral em aclave e em declive. A aplicabilidade das equações desenvolvidas é para um perfil do tipo II-a (), pois, a carga máxima de pressão da lateral em declive é única e ocorre no início da lateral, compatível com o perfil de carga de pressão do trecho em aclave. Quando o diâmetro (), o comprimento () e a vazão de projeto do emissor () são conhecidas é possível determinar o BSP. Foram desenvolvidas aplicações em projeto de linhas laterais de irrigação por gotejamento, pareadas, em terrenos com declive uniforme. A aplicação do método mostrou-se eficiente e de fácil convergência.

PALAVRAS-CHAVE: Laterais pareadas, Laterais inclinadas, Dimensionamento ótimo.

METHOD FOR DESIGN OF PAIRED DRIP LATERALS ON UNIFORMLY SLOPING FIELDS

ABSTRACT: This study proposed an analytical approach for designing paired laterals of drip irrigation systems, installed on uniform slopes, that complies with an application uniformity criterion. The method is based on the energy gradient line and uses the concept of the Best Manifold Position (BMP). The minimum pressure head of the lateral uphill must be equal to the

minimum pressure head of the lateral downhill. The proposed equations are valid for pressure profiles type I and II-a, in which the maximum pressure head occurs only at the lateral inlet. The BSP can be determined when the following variables are known: lateral diameter, length and emitter nominal discharge. Example applications of paired drip laterals installed on uniform slopes are presented. The method has shown to be effective and presented easy convergence of results.

KEYWORDS: Paired laterals, Sloped laterals, Optimal design.

1 | INTRODUÇÃO

A irrigação por gotejamento é um método de aplicar água ao campo em pequenos volumes e com alta frequência, dentro da zona radicular da cultura. Algumas vantagens da irrigação por gotejamento são as seguintes: (1) pequenas fontes de água podem ser utilizadas; (2) menor quantidade de energia é necessária para o bombeamento (comparado à irrigação por aspersão); (3) a água é aplicada para irrigação do campo com alta uniformidade; (4) o rendimento do cultivo e o crescimento das plantas é melhorado; (5) o sistema tem boa adaptabilidade para várias condições topográficas e de solo; (6) pode ser usada água salina; (7) o custo da mão de obra é baixo; e (8) o crescimento de ervas daninhas e danos causados por insetos podem ser reduzidos (Kang et al., 1995).

Embora a irrigação por gotejamento tenha as vantagens mencionadas, sua utilização apresenta limitações. O alto custo inicial é um dos mais importantes fatores. O custo inicial é afetado por materiais de condução de água, como linhas laterais, de derivação, secundárias e principais, emissores, válvulas, conexões e outros acessórios. Para quase todo o material, os preços estão relacionados aos seus tamanhos. Portanto, o custo inicial pode ser reduzido escolhendo-se tamanhos ou comprimentos ideais das tubulações que compõem o sistema.

No projeto de um sistema de irrigação por gotejamento que aplica água com alta uniformidade, as cargas mínimas e máximas de pressão disponíveis são dois parâmetros importantes. O a carga mínima de pressão deve superar a máxima variação de elevação do terreno e permitir uma carga de pressão positiva em cada emissor ao longo da linha lateral. A máxima carga de pressão deve fazer com que o sistema funcione com segurança.

No projeto de linhas laterais de irrigação por gotejamento, uma prática bem aceita é a limitação da variação da vazão dos emissores em uma subunidade de irrigação em aproximadamente 10% do seu valor nominal, de modo a obter valores razoavelmente altos para a uniformidade de distribuição de água. Este critério de projeto tem sido amplamente aplicado e tem sido considerado em muitos textos sobre a hidráulica básica de projeto de sistemas de irrigação (Keller e Bliesner, 1990).

Embora a hidráulica do sistema de irrigação por gotejamento seja relativamente simples, uma vez que se considera que as vazões dos emissores são constantes ao longo da lateral, métodos de projetos especializados são raros. Os métodos mais comuns de

projeto de linhas laterais de irrigação por gotejamento são o do gradiente da linha de energia (Wu e Yue, 1993) e os método tradicional de cálculo passo-a-passo. O método do gradiente da linha de energia () foi desenvolvido com base em três pressupostos: a vazão dos emissores ao longo da lateral é uniforme, a distribuição da vazão ao longo da lateral é contínua e a vazão no final da lateral é nula.

A maioria das linhas laterais de irrigação por gotejamento está pareada par equilibrar as diferenças em elevações e as perdas de pressão nos trechos em aclave e em declive (Keller e Bliesner, 1990). Além disso, usando pares de laterais nos quais dois trechos de laterais se estendem em direções opostas de uma linha de derivação comum, para um diâmetro fixo da lateral pode-se permitir que o comprimento da lateral seja maximizado. Baiamonte et al. (2015) relatam estudos que consideraram dois critérios de projeto para calcular o comprimento de laterais e de linhas de derivação para uma subunidade de irrigação, e usando preços locais para a instalação de sistemas de gotejamento, mostraram que o custo da subunidade diminui à medida que aumenta o comprimento lateral até um certo limite e, em seguida, volta a aumentar.

Um componente importante para projetar laterais pareadas é determinar a melhor posição da linha de derivação (BSP). Com base em diferentes definições de BSP vários métodos foram propostos para projetar laterais pareadas (Keller e Bliesner, 1990; Jiang e Kang, 2010; Ju et al., 2015; Baiamonte et al., 2015; Baiamonte, 2016; Monserrat et al., 2018). As metodologias propostas até o momento foram baseadas em procedimentos matemáticos complexos que dificultam o uso por engenheiros projetista e fazem certas suposições serem restritivas, como uma variação de pressão fixa, limitando sua aplicação. Além disso, outros modelos apresentam dificuldade de convergência da solução, como o modelo simplificado apresentado por Jiang e Kang (2010).

Keller e Bliesner (1990) definiram o como o local onde ocorre a mesma carga de pressão mínima para as laterais em aclave e em declive, e um método para solução gráfica e para solução numérica foi desenvolvido com base nesta definição. No método de solução gráfica, o BSP pode ser determinado pelo desenvolvimento de curvas gerais de perda de carga para uma tubulação de múltiplas e saídas e, em seguida, desenhando-se a linha que representa o perfil do terreno para localizar a interseção na qual a mesma pressão mínima é obtida. No método numérico de solução, o BSP pode ser determinado através da determinação da carga de pressão ao longo de uma lateral em declive e aclave, com base na a relação entre o coeficiente de redução de perda de carga para tubos com múltiplas saídas, e a relação da diferença de elevação para a perda de carga por atrito.

Este trabalho utiliza o conceito da linha do gradiente de energia com o objetivo de desenvolver equações simples para a determinação do BSP, em que o diâmetro (D), o comprimento (L) e a vazão de projeto do emissor (q) são conhecidas. Serão desenvolvidas aplicações em projeto de linhas laterais de irrigação por gotejamento, pareadas, em terrenos com declive uniforme.

2 | METODOLOGIA

2.1 Definição do problema

O equacionamento matemático foi desenvolvido sob as seguintes suposições: (a) a carga de velocidade na linha lateral pode ser desprezada; (b) a linha lateral tem um número infinito de emissores; (c) o escoamento é turbulento hidraulicamente liso em todo o comprimento da linha lateral.

A determinação do BSP é um fator importante no projeto de linhas laterais pareadas e foi definido como o comprimento do trecho da lateral em declive, localizado no centro de um espaçamento do emissor. Com frequência se apresenta uma situação como se mostra na Figura 1, em que a linha lateral é formada por dois ramos, um de cada lado da linha de derivação. Neste caso, deve-se determinar o ponto ótimo da linha lateral em que se deve conectar a linha de derivação (BSP). Quando o terreno é horizontal, o ponto ótimo está no centro da lateral. Quando o terreno possui um gradiente de declive (S_o), o ponto ótimo está mais próximo do extremo mais alto. A localização ótima se calcula com a condição de que se igualem as cargas de pressões mínimas em ambos os ramos da lateral.

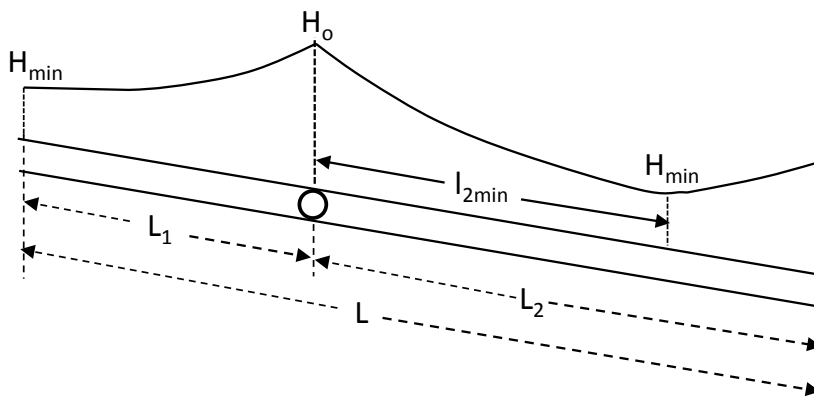


Figura 1 – Diagrama esquemático para determinar a melhor posição da linha de derivação (BSP) em sistemas de microirrigação com linhas laterais pareadas operando em terrenos com declive uniforme.

2.2 Equações de perda de carga para a linha lateral

Para expressar a perda de carga na linha lateral é utilizada a equação de Darcy-Weisbach combinada com a equação da continuidade para tubos de seção circular (Swamee & Swamee, 2007) e considera-se o fator de redução de perda de carga devido às múltiplas saídas laterais de água e o efeito das perdas localizadas de carga pelas inserções dos emissores na linha lateral (Eq.1).

$$h_f = \frac{8}{\pi^2 g} f \frac{Q^2}{D^5} L F \lambda \quad (\text{Eq. 1})$$

em que: h_f – perda de carga total ao longo da linha lateral, m; f – fator de atrito, adimensional; Q – vazão de entrada na linha lateral, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$; D – diâmetro interno da linha lateral, m; L – comprimento da linha lateral, m; F – fator de redução de perda de carga, adimensional; λ – fator que contabiliza a perda localizada de carga, adimensional; g – aceleração da gravidade, m s^{-2} ; π – relação entre o comprimento da circunferência e seu diâmetro (= 3,14...)

Para escoamento turbulento hidraulicamente liso, com número de Reynolds (R) entre 4000 e 10^5 , o fator f geralmente é calculado pela equação de Blasius (Eq.2), especificamente obtidas para tubos de polietileno de pequenos diâmetros (Bernuth & Wilson, 1989; Juana et al. 2002; Provenzano & Pumo, 2004; Melo et al., 2019).

$$f = \frac{a}{R^b} \quad (\text{Eq.2})$$

em que, na equação de Blasius $a = 0,3164$ e $b = 0,25$ para tubos lisos rígidos. Para tubos de polietileno não colapsáveis de diâmetros nominais 16, 20 e 25 e $2000 < R < 36000$, Bagarello et al. (1995) propuseram $a = 0,302$ e Cardoso et al. (2008), para diâmetros nominais de 12, 15, 18, 20 e 22, propuseram $a = 0,300$ para $6000 < R < 72000$. Para tubos de polietileno colapsáveis, com espessuras de paredes de 150, 200 e $250 \mu\text{m}$, estudos de Provenzano et al. (2016) indicaram $a = 0,285$. Ambos os estudos assumem $b = 0,25$. Ensaio laboratoriais realizados por Melo et al. (2019) indicaram $a = 0,3442$ para tubo gotejador colapsável, Turbo Tape®, com labirintos contínuos soldados à parede interna do tubo.

O número de Reynolds é expresso pela Eq. 3:

$$R = \frac{4 Q}{\pi v D} \quad (\text{Eq.3})$$

sendo v o coeficiente de viscosidade cinemática da água ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$), que é função da temperatura.

Substituindo as Eq. 2 e 3 na Eq.1, obtém-se:

$$h_f = \frac{8 (4)^{-b}}{\pi^{(2-b)}} \left(\frac{a}{g}\right) v^b \frac{Q^{(2-b)}}{D^{(5-b)}} L F \lambda \quad (\text{Eq.4})$$

Considerando-se que a linha lateral tem emissores espaçados de uma distância $S(\text{m})$ ($N = L/S$), e que a vazão de cada emissor ao longo da lateral é constante (q , $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) tem-se ($Q = qL/S$). Segundo Yildirim & Ağiralioğlu (2004), Pinto et al. (2014) e Melo et al.

(2019), para uma tubulação com distribuição da vazão em marcha, o fator de redução de perda de carga pode ser aproximado por $F = 1/(3-b)$. Assumindo S, D e q constantes, a equação (4) pode ser reescrita na forma da Eq. 5 (Wu & Gitlin, 1975; Yildirim, 2007) :

$$h_f = k_1 L^{(3-b)} \quad \text{Eq.5}$$

ou,

$$j = k_1 L^{(2-b)} \quad \text{Eq.6}$$

sendo:

$$k_1 = \frac{0,8155 (4)^{-b} a v^b \lambda q^{(2-b)}}{(3-b) \pi^{(2-b)} S^{(2-b)} D^{(5-b)}} \quad \text{Eq.7}$$

sendo j a perda de carga unitária ($m \cdot m^{-1}$) e λ calculado pela Eq.8 (Monserrat et al., 2018):

$$\lambda = 1 + \frac{Le}{S} \quad \text{Eq.8}$$

em que (m) é o comprimento equivalente corresponde à perda localizada de carga no emissor. Se o emissor não causar perda localizada de carga $\lambda = 1$. Caso contrário, $\lambda > 1$.

Para $b = 0,25$, obtém-se:

$$k_1 = 2,8311 \times 10^{-2} \frac{a v^{0,25} \lambda q^{1,75}}{S^{1,75} D^{4,75}} \quad \text{Eq.9}$$

2.3 Perfis de carga de pressão na lateral

Para o desenvolvimento que segue neste trabalho é útil analisar as características hidráulicas típicas de cada tipo de perfil de carga de pressão que ocorre ao longo da lateral, dependendo das diferentes inclinações uniformes da linha lateral e suas relações com a perda de carga. Existem três tipos gerais de perfis de pressão ao longo de uma linha lateral (Tipo I, Tipo II e Tipo III). Para o perfil tipo II existem três tipos particulares (Tipo II-a, Tipo II-b e Tipo II-c). Esses tipos de perfis podem ser classificados como segue (Gillespie et al. 1979, Wu et al. 1983; Barragan e Wu 2005):

(a) Perfil de pressão Tipo I (Lateral em nível ou aclave): a carga de pressão diminui em relação ao comprimento da lateral. A energia total é dissipada pela mudança de elevação resultante do aclave uniforme e por perda de carga. A carga máxima de pressão (H_{max}) ocorre na entrada da linha e é igual à carga de pressão de operação máxima H_0 ($H_0 = H_{max}$). A carga mínima de pressão (H_{min}) ocorre no final da linha lateral e é igual à carga de pressão no final ($H_{final} = H_{min}$).

(b) Perfil de pressão Tipo II (pressão mínima ao longo da linha): a lateral está em declive e a carga de pressão diminui a partir do início da lateral em relação ao seu

comprimento, atinge um ponto mínimo (I_{\min}) e, em seguida, aumenta em relação ao comprimento da linha. A carga mínima de pressão está localizada em algum lugar entre o início e o final da lateral, dependendo dos limites do intervalo $0 < S_o/J < m+1$, sendo m o expoente da vazão na equação de perda de carga.

(b1) Perfil de pressão Tipo II-a (declive suave): este tipo de perfil de pressão ocorre quando a perda de carga e o gradiente de declive atende à condição $0 < IS_o/I/JI < 1$. Neste tipo, o ganho de energia total pelo declive uniforme no final da linha é menor que a dissipação da energia total por perda de carga, de modo que a carga de pressão no final da lateral (H_{final}) ainda é menor que a pressão de operação na entrada (H_o). A carga de pressão máxima está na entrada da linha ($H_{\text{max}} = H_o$), e a carga de pressão mínima localiza-se em algum ponto no trecho correspondente à segunda metade da lateral.

(b2) Perfil de pressão Tipo II-b (declive moderado): este perfil ocorre sob a situação de declive e de perda de carga em que a relação adimensional de gradiente de energia é $IS_o/I/JI = 1$. Este perfil é semelhante ao tipo II-a, mas o perfil é tal que as cargas de pressão no início e no final da lateral são iguais ($H_o = H_{\text{final}} = H_{\text{max}}$). A carga de pressão mínima está localizada em algum ponto próximo da seção média da lateral. Entre todos os tipos de perfis de pressão, o perfil Tipo II-b é considerado o perfil de pressão ótimo (ou ideal) porque pode produzir a diferença mínima de carga de pressão para um determinado comprimento de tubo, como discutido por Wu et al. (1983) e Wu e Barragán (2000). Este perfil ocorre quando a dissipação de energia por perda de carga é igual ao ganho total de energia pelo declive.

(b3) Perfil de pressão Tipo II-c (declive forte): este perfil ocorre nas situações em que a relação entre declive e perda de carga é $1 < IS_o/I/JI < m + 1$. Isso ocorre quando a inclinação da linha é forte, resultando em uma carga de pressão no final da linha maior do que a carga de pressão de operação na entrada. Nessa condição, a carga de pressão máxima ocorre no final da linha lateral ($H_{\text{max}} = H_{\text{final}} > H_o$) e a pressão mínima está localizada em algum ponto no trecho correspondente à primeira metade da lateral.

(c) Perfil de pressão Tipo III (declive muito forte): este perfil ocorre quando a linha lateral está em um declive muito forte, onde o ganho total de energia pelo declive uniforme é maior que a queda de energia devido à perda de carga em todas as seções ao longo da linha. A carga de pressão aumenta em relação ao comprimento da linha. Isso é causado por um declive muito forte em que $IS_o/I/JI \geq m + 1$. Nesta condição, a carga máxima de pressão está na extremidade final da linha lateral ($H_{\text{max}} = H_{\text{final}}$) e a carga mínima de pressão está na entrada da linha ($H_{\min} = H_o$).

A carga de pressão em um ponto qualquer ao longo da linha (H_l), ou distribuição de pressão em uma linha lateral de comprimento L^* qualquer, é dada pela Eq. 10:

$$H_l = H_o - \left[1 - \left(1 - \frac{l}{L^*} \right)^{m+1} \right] h_{f(L)} - S_o L^* \quad \text{Eq. 10}$$

sendo, H_1 – carga de pressão em uma distância qualquer em relação ao início da lateral; H_o – carga de pressão na entrada da lateral; L^* – comprimento da lateral; $h_{f(L^*)}$ – perda de carga ao longo do comprimento L^* ; S_o – gradiente de declive da linha lateral; para lateral em nível $S_o = 0$, para lateral em aclave $S_o > 0$ e, para lateral em declive, $S_o < 0$; m – expoente da vazão na equação de perda de carga utilizada.

2.4 Carga de pressão mínima nas laterais pareadas

Considere L_1 o trecho da linha lateral em aclave, L_2 o trecho em declive e L o comprimento total da linha lateral, isto é, $L = L_1 + L_2$. Para o trecho da linha lateral em aclave, com comprimento L_1 , a carga de pressão mínima ocorre no final da linha e pode ser calculada pela Eq. 11 ou 12:

$$(H_{\min})_{L_1} = H_o - k_1 L_1^{(3-b)} - S_o L_1 \quad \text{Eq. 11}$$

sendo S_o o gradiente de aclave ($m \cdot m^{-1}$) e $L = L_1 - L_2$. Assim:

$$(H_{\min})_{L_1} = H_o - k_1 (L_1 - L_2)^{(3-b)} - S_o (L - L_2) \quad \text{Eq. 12}$$

No trecho da linha lateral em declive, o local de ocorrência da carga mínima de pressão ($l_{2\min}$) é obtida igualando à zero a derivada da equação de distribuição de pressão em L_2 . A razão $l_{2\min}/L_2$ pode ser calculada pela Eq. 13:

$$\frac{l_{2\min}}{L_2} = 1 - \left[\frac{S_o}{(3-b)k_1 L_2^{(2-b)}} \right]^{1/(2-b)} \quad \text{Eq. 13}$$

Daí decorre:

$$l_{2\min} = L_2 - \frac{S}{q} \left(\frac{\pi^{(2-b)} S_o D^{(5-b)}}{0,8155(4)^{-b} a v^b \lambda} \right)^{1/(2-b)} \quad \text{Eq. 14}$$

Para $b = 0,25$ obtém-se as Eq. 14, 15 e 16:

$$l_{2\min} = L_2 - 4,301 \frac{S S_o^{0,5714} D^{2,7143} a^{-0,5714} \lambda^{-0,5714} v^{-0,1429}}{q} \quad \text{Eq. 15}$$

A carga de pressão mínima para o trecho da lateral em declive (L_2) será:

$$(H_{\min})_{L_2} = H_o - h_{f(L_2)} \left[1 - \left(1 - \frac{l_{2\min}}{L_2} \right)^{2,75} \right] + S_o l_{\min} \quad \text{Eq. 16}$$

sendo que o segundo termo do segundo membro da Eq. 14 é a perda de carga que ocorre desde o início do trecho L_2 até o ponto em que ocorre a carga de pressão mínima, isto é, na distância l_{2min} . Então:

$$(H_{min})_{L_2} = H_o - k_1 L_2^{2,75} \left\{ 1 - \left[1 - \frac{L_2 - A}{L_2} \right]^{2,75} \right\} + S_o (L_2 - A) \quad \text{Eq.17}$$

sendo,

$$A = 4,301 \frac{S S_o^{0,5714} D^{2,7143} a^{-0,5714} \lambda^{-0,5714} v^{-0,1429}}{q} \quad \text{Eq.18}$$

2.5 Comprimento do trecho em declive (L_2)

Pelo pressuposto inicial, deve-se verificar: $(H_{min})_{L_1} = (H_{min})_{L_2}$. Então, para $b = 0,25$ obtém-se:

$$H_o - k_1 (L - L_2)^{2,75} - S_o (L - L_2) = H_o - k_1 L_2^{2,75} \left\{ 1 - \left[1 - \frac{L_2 - A}{L_2} \right]^{2,75} \right\} + S_o (L_2 - A) \quad \text{Eq.19}$$

Reorganizando os termos da Eq.18 e simplificando, obtém-se:

$$k_1 (L - L_2)^{2,75} + S_o (L - A) = k_1 L_2^{2,75} \left[1 - \left(\frac{A}{L_2} \right)^{2,75} \right] \quad \text{Eq.20}$$

$$L_2 = \left[(L - L_2)^{2,75} + \frac{S_o}{k_1} (L - A) + A^{2,75} \right]^{1/2,75} \quad \text{Eq.21}$$

Para calcular comprimento L_2 conhecendo-se S , D , a , H_o , S_o e q , seguem-se os seguintes passos:

- calcule k_1 pela Eq.9;
- Calcule j pela Eq. 6;
- Calcule $IS_o/|j|$ e certifique-se que o perfil de pressão é do tipo II-a ($0 < IS_o/|j| < 1$);
- determine A pela Eq. 18;
- determine L_2 pela Eq. 21;
- determine $L_1 = L - L_2$
- determine o local de ocorrência da carga de pressão mínima no trecho L_2 utilizando a Eq. 15;
- determine a carga de pressão mínima em L_2 utilizando a Eq. 16;
- determine a variação da carga de pressão e de vazão na linha pelas Eq. 21 e 22:

$$H_{var} = \frac{H_o - H_{min}}{H_o} \quad \text{Eq.22}$$

$$q_{var} = \frac{q_{max} - q_{min}}{q_{max}} \quad \text{Eq.23}$$

(j) se H_{var} e H_{var} calculados forem maiores que os valores admissíveis para o projeto, reduza L e reinicie os cálculos. Em projetos de irrigação por gotejamento é comum utilizar valores máximos de q_{var} de 10% a 20%. A relação entre q_{var} e H_{var} é dada pela Eq. 24:

$$q_{var} = 1 - (1 - H_{var})^x \quad \text{Eq.24}$$

em que x é o expoente de fluxo do emissor.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicabilidade das equações desenvolvidas é para um perfil do tipo II-a ($0 < IS_0/|l| < 1$), pois a carga máxima de pressão da lateral em declive é única e ocorre no início, compatível com o trecho em aclave. Quando $IS_0/|l| \geq m+1$, Eq. 14 não tem solução porque é obtida por derivação da equação do perfil da carga de pressão. Além disso, o perfil da carga de pressão da lateral não tem ponto de inflexão (perfil do tipo III). A carga mínima de pressão está localizada no início da lateral e a máxima no final. Nesse caso, uma única linha lateral pode resultar na máxima uniformidade de aplicação de água. Para o perfil tipo II-b ($IS_0/|l| = 1$) também não é aplicável porque a carga máxima de pressão ocorre em dois locais, no início e no final da lateral e, nesse caso, uma única lateral atenderá melhor a condição de uniformidade de distribuição de água. Também não se aplica ao perfil do tipo II-c ($1 < IS_0/|l| < m + 1$) porque a carga máxima de pressão ocorre no final da lateral.

3.1 Aplicação

Para a aplicação seguinte será utilizada a fita gotejadora Turbo Tape®, fabricada pela NaanDanJain, que é um tubo colapsável com labirintos contínuos soldados na parede interna. Essa fita gotejadora, com emissores espaçados de 0,10 m, operando à temperatura de 23 °C, possui relação vazão pressão dos emissores $q = 1,05 \times 10^{-7} H^{0,457}$ (Araújo, 2019), sendo q expresso em $m^3 s^{-1}$ e H em m. De acordo com Melo et al. (2016b) o diâmetro interno é 16,01 mm e o parâmetro a da equação de Blasius é 0,3442 para $b = 0,25$. Calcular o BSP para uma linha lateral com comprimento total de 150 m, com declive de 2%, operando com carga de pressão de entrada de 8 m, considerando que à 23 °C a viscosidade cinemática da água é $0,93252 \times 10^{-6} m^2 s^{-1}$ e a vazão média do emissor é $2,7158 \times 10^{-7} m^3 s^{-1}$.

Para a solução inicia-se calculando k_1 pela Eq. 9, assumido $\lambda = 1$:

$$k_1 = 2,8311 \times 10^{-2} \frac{0,3442 (0,93252 \times 10^{-6})^{0,25} (2,7158 \times 10^{-7})^{1,75}}{0,1^{1,75} \times 0,01601^{4,75}} = 1,8606 \times 10^{-5}$$

A perda de carga unitária (Eq. 6), considerando $L = 150\text{m}$, será:

$$J = 1,8606 \times 10^{-5} \cdot 150^{1,75} = 0,1196 \text{ m m}^{-1}$$

O perfil da carga pressão que ocorre nessa lateral é tipo II-a, pois:

$$\frac{|S_o|}{|J|} = \frac{0,02}{0,1196} = 0,1672$$

Para Calcular L_2 (comprimento do trecho em declive) determina-se o parâmetro A (Eq. 18) e, posteriormente, o comprimento L_2 (Eq. 21):

$$A = 4,301 \frac{0,10 \times 0,02^{0,5714} \times 0,01601^{2,7143} \times 0,3442^{-0,5714} (0,93252 \times 10^{-6})^{-0,1429}}{2,7158 \times 10^{-7}} = 30,301$$

$$L_2 = \left[(150 - L_2)^{2,75} + \frac{0,02}{1,8606 \times 10^{-5}} (150 - 30,301) + 30,301^{2,75} \right]^{1/2,75}$$

A solução se dá por iteração e resulta $L_2 = 88,2 \text{ m}$ (882 pontos de emissão) e $L_1 = 150 - 88,2 = 61,8 \text{ m}$ (618 pontos de emissão).

Para o trecho em declive (L_2) a carga de pressão mínima ocorrerá à distância $l_{2\text{min}}$ à partir da entrada, calculada pela Eq. 15:

$$l_{2\text{min}} = 88,3 - 4,301 \frac{0,1 \times 0,02^{0,5714} \times 0,01601^{2,7143} \times 0,3442^{-0,5714} (0,93252 \times 10^{-6})^{-0,1429}}{2,7158 \times 10^{-7}} = 58,0 \text{ m}$$

A carga de pressão mínima na linha em declive, para a carga pressão de entrada de 8 m é calculada pela Eq. 17:

$$(H_{\text{min}})_{L_2} = 8 - 1,8606 \times 10^{-5} \times 88,3^{2,75} \left[1 - \left(1 - \frac{58}{88,3} \right)^{2,75} \right] + 0,02 \times 58 = 5,2 \text{ m}$$

Para a linha em aclave a carga de pressão mínima é:

$$(H_{\text{min}})_{L_2} = 8 - 1,8606 \times 10^{-5} \times 61,7^{2,27} - 0,02 \times 61,7 = 5,2 \text{ m}$$

A variação da carga de pressão nas linhas em aclave e em declive é:

$$H_{\text{var}} = \left(\frac{8 - 5,2}{8} \right) 100 = 35\%$$

O H_{var} calculado corresponde à seguinte variação de vazão pela aplicação da Eq. 24:

$$q_{var} = 1 - (1 - 0,35)^{0,457} = 0,1787 \text{ (17,87\%)}$$

O valor de q_{var} é uma medida da uniformidade de distribuição de água. O valor calculado, no caso 17,87%, deve ser comparado ao valor admissível para projeto. Se for maior que o valor admissível deve-se reduzir o comprimento total L até que se atinja o valor máximo admissível. Por exemplo, se o valor máximo admissível for 10% deve-se reduzir L. Na Figura 2 são apresentados os valores de q_{var} possíveis de serem obtidos para vários comprimentos L da linha lateral. Para $S_o = 0,02 \text{ m m}^{-1}$, variações de vazão inferiores a 10% só poderão ser obtidas para $54 \leq L \leq 122,6 \text{ m}$. Para L inferior a 54 m obtém-se $|S_{ol}/l| \geq 1$ e o perfil de distribuição de carga de pressão deixa de pertencer ao tipo II-a, não sendo possível dimensionar linhas laterais pareadas. Neste caso, uma única linha lateral, alimentada por um extremo, deverá ser projetada. Na Tabela 1 observa-se os comprimentos dos trechos L_1 e L_2 para vários comprimentos e os respectivos valores de q_{var} .

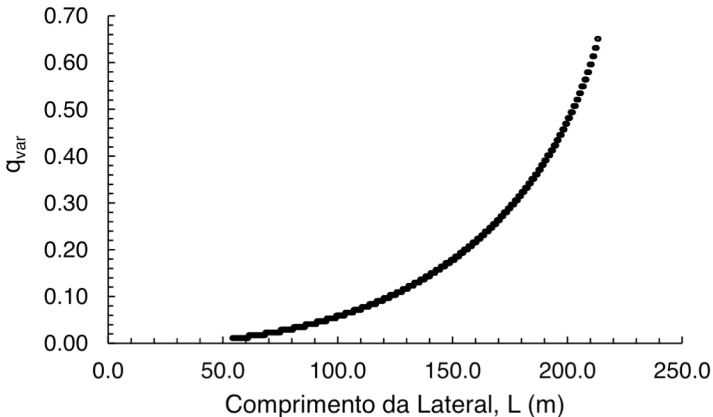


Figura 2 – Variação de vazão (q_{var}) possível para vários comprimentos (L) da linha lateral, para $S_o = 0,02 \text{ m m}^{-1}$

L (m)	L_1 (m)	L_2 (m)	q_{var}	H_{min} (m)
122,7	46,6	76,1	0,1034	6,3
122,6	46,5	76,1	0,0967	6,4
120,0	45,0	75,0	0,0967	6,4
110,0	39,4	70,6	0,0716	6,8
100,0	33,7	66,3	0,0592	7,0
54,0	7,9	46,1	0,0115	7,8

Tabela 1 – Valores dos comprimentos dos trechos L_1 e L_2 para vários comprimentos L e respectivos valores de q_{var} e H_{min} , para $S_o = 0,02 \text{ m m}^{-1}$

4 | CONCLUSÕES

O método desenvolvido para projetar linhas laterais de irrigação por gotejamento pareadas, em terrenos com declive uniforme, que satisfazem uma uniformidade de aplicação de água requerida, foi desenvolvido e mostrou-se eficiente. O princípio do método é que se igualem as pressões mínimas na linha lateral em aclive e em declive. A aplicabilidade das equações desenvolvidas é para um perfil do tipo II-a ($0 < IS_0/|J| < 1$), pois, a carga máxima de pressão da lateral em declive é única e ocorre no início da lateral, compatível com o perfil de carga de pressão do trecho em aclive. Quando o diâmetro (D), o comprimento (L) e a vazão de projeto do emissor (q) são conhecidas é possível determinar o BSP. Foram desenvolvidas aplicações em projeto de linhas laterais de irrigação por gotejamento, pareadas, em terrenos com declive uniforme. A aplicação do método mostrou-se eficiente e de fácil convergência.

REFERÊNCIAS

- BAGARELLO, V.; FERRO, V.; PROVENZANO, G.; PUMO, D. **Experimental study on flow resistance law for small diameter plastic pipes**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.5, n.313, p.313-316, 1995.
- BAIAMONTE, G.; PROVENZANO, G.; RALLO, G. **Analytical Approach determining the optimal length of paired drip laterals in uniformly sloped fields**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.141, n.1: 04014042, 2015.
- BAIAMONTE, G. **Simple relationships for the optimal design of paired drip laterals on uniform slopes**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.14, n.1: 04015054, 2016.
- BARRAGÁN, J.; WU, I. P. **Simple pressure parameters for microirrigation design**. Biosystems Engineering, v.90, n.4, p.463–475, 2005.
- CARDOSO, G. G. G.; FRIZZONE, J. A.; REZENDE, R. **Fator de atrito em tubos de polietileno de pequenos diâmetros**. Acta Scientiarum. Agronomy, v.30, p.299-305, 2008.
- GILLESPIE, V.A.; PHILLIPS, A.L.; WU, I.P. **Drip irrigation design equations**. Journal of the Irrigation and Drainage Division, v.105, n.IR3, p.247-257, 1979.
- JIANG, S.; KANG, Y. **Simple method for the design of microirrigation paired lateras on sloped fields**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.136, n.4, p.271-275, 2010.
- JU, X.L.; WECKLER, P.R.; WU, P.T.; ZHU, D.L.; WANG, X.K.; LI, Z. **New simplified approach for hydraulics design of micro-irrigation paired laterals**. Transactions of the ASABE, v.50, n.6, p.1521-1534, 2015.
- JUANA, L.; RODRIGUEZ-SINOBAS, L.; LOSADA, A. **Determining minor head losses in drip irrigation laterals. I: Methodology**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.128, p.376-384, 2002.

KANG, Y.H.; NISHIYAMA, S.; KAWANO, H. **A simple method of designing uniform-water-application drip irrigation system.** Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering, n.176, p.63-72, 1995.

KELLER, J., and BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation.** AVI book, Van Nostrand Reinhold, New York. 1990.

MELO, V.G.M.L.; FRIZZONE, J.A.; CAMARGO, A.P.; BOMBARDELLI, W.W.A. **Head loss in laser-perforated thin-walled polyethylene pipes for irrigation.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.23, n.5, p.317-323, 2019.

MONSERRAT, J.; BARRAGÁN, J.; COTS, L. **Design of paired laterals on uniformly sloping fields.** Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.144, n.6: 04018008, 2018.

PINTO, M. F.; CAMARGO, A. P.; RETTORE NETTO, O.; FRIZZONE, J. A. **Hydraulic characterization of porous pipes made of recycled automobile tires used in subsurface irrigation.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.18, p.1095-1101, 2014.

PROVENZANO, G.; PUMO, D. **Experimental analysis of local pressure losses for microirrigation laterals.** Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.130, n.4., p.318-324, 2004.

PROVENZANO, G.; ALAGNA, V.; AUTOVINO, D.; JUAREZ, J.M.; RALLO, G. **Analysis of geometrical relationships and friction losses in small-diameter lay-flat polyethylene pipes.** Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.142, n2: 04015041, 2016.

SWAMEE, P.K; SWAMEE, N. **Full range pipe-flow equations.** Journal of Hydraulics Research, v.45, p.841-843, 2007.

VON BERNUTH, R. D.; WILSON, T. **Friction factor for small diameter plastic pipe.** Journal of Hydraulic Engineering, v.115, p.183-192, 1989.

YILDIRIM, G. M. A.; AGIRALIOGLU, N. **Comparative analysis of hydraulic calculation methods in design of microirrigation laterals.** Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.130, p.201-217, 2004.

YILDIRIM, G. **An assessment of hydraulic design of trickle laterals considering effect of minor losses.** Irrigation and Drainage, v.56, n.4, p.399-421, 2007.

WU, I.P.; YUE, R. **Drip lateral design using energy gradient line approach.** Transactions of the ASAE, v.36., n.2, p.389-394, 1993.

WU, I.P.; GITLIN, H.M. **Energy gradient line for drip irrigation laterals.** Journal of the Irrigation and Drainage Division, v.101, n.IR4, p.323 – 326, 1975

WU, I.P.; BARRAGÁN, J. **Design criteria for microirrigation systems.** Transactions of the ASAE, v.43, n.5, p.1145–1154, 2000.

WU, I.P.; SARAWATARI, C.A., GITLIN, H. M. **Design of drip irrigation lateral length on uniform slopes.** Irrigation Science, v.4, n.2, p.117–135, 1983.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agricultura Irrigada 2, 2, 6, 8, 17, 19, 57, 65, 81, 94, 124, 126, 137, 143, 148, 156

Águas Salobras 94

Apocynaceae 92, 93, 111, 112, 116

Área Irrigada 4, 6, 8, 9, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 27, 124, 126, 127, 130, 131, 133, 135, 136, 137

Automação da Irrigação 149, 156

B

Bioinvasão 111, 112, 113

C

Citrullus lanatus 1

Cucumis melo L. 144, 145, 146, 157, 158

Cucurbita moschata L. 149, 150

D

Densidade de Plantas 144, 145

Desenvolvimento Sustentável 6, 109, 124

Dimensionamento 21, 32, 46, 48

E

Estimativa 20, 21, 22, 25, 46, 48, 58, 66, 67, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 138, 141, 142, 149, 151, 152, 154, 156, 158, 159, 161, 162, 163, 164, 166

Estresse 87, 88, 90, 92, 93, 101, 111, 114, 115, 116, 154, 166, 170, 171

Evapotranspiração 3, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 56, 57, 58, 61, 64, 65, 66, 67, 70, 71, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 90, 93, 96, 113, 124, 125, 138, 140, 141, 142, 143, 149, 151, 152, 153, 157, 161, 162, 163

F

Fertirrigação 1, 2, 3, 4, 146, 148, 160

H

Halotolerante 101, 117

I

Inovação Tecnológica 56, 58

Irrigação por Gotejamento 1, 2, 3, 4, 5, 11, 12, 32, 33, 34, 41, 44, 46, 47, 65, 96, 129, 130, 145, 147

L

Laterais Inclinadas 32

Laterais Pareadas 32, 34, 35, 39, 43

Linha Lateral 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 43, 44, 46, 47, 48, 145, 147

Lisímetros 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 94, 95, 138, 140

M

Macronutrientes 94, 96, 98, 99

Manejo da Irrigação 3, 21, 58, 67, 120, 149, 157, 158

Melhoramento Genético 168, 169, 170, 171, 175

Métodos de Irrigação 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 124, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 134, 135, 136

Métodos Empíricos 66, 70, 142

N

Nivelamento 26, 28, 29, 30

P

Penman-monteith 22, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 138, 139, 141, 142, 153, 157, 161, 162

Perda de Carga 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 46, 47, 49, 50, 52, 53, 55

Pluviômetro 20, 22, 56, 58, 63, 64

Poaceae 82, 83, 85, 169

Projeto Hidráulico 26

Q

Qualidade de Frutos 144

R

Recursos Hídricos 6, 8, 19, 124, 126, 137, 148, 150, 158

S

Saccharum spontaneum 168, 169, 171

Salinidade 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 94, 95, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 105, 106, 108, 109, 111, 113, 114, 115, 117, 118, 120, 121, 122, 123

Sensor de Granier 157

Substratos Salinos 117

Sucroenergético 167, 168, 169

T

Temperatura 20, 22, 23, 24, 28, 29, 36, 41, 47, 49, 50, 68, 78, 82, 84, 85, 86, 88, 91, 92, 96, 104, 105, 106, 111, 114, 115, 151, 159, 160, 161, 162

Termo Higrômetro 20, 22


Topografia 26, 31

Desenvolvimento de Pesquisa Científica na **Agricultura Irrigada**

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Desenvolvimento de Pesquisa Científica na **Agricultura Irrigada**

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 