

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 07/03/2024

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until Mar. 07, 2024

EVANIZE RODRIGUES CASTRO

**APORTES TECNOLÓGICOS PARA O DIMENSIONAMENTO DE LINHAS
LATERAIS EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL**

Botucatu

2023

EVANIZE RODRIGUES CASTRO

**APORTES TECNOLÓGICOS PARA O DIMENSIONAMENTO DE LINHAS
LATERAIS EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Campus
de Botucatu, para a obtenção do título de
Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Cury
Saad

Coorientadores: Prof. Dr. Luís Roberto
Almeida Gabriel Filho; Profa. Dra. Vanessa
Avansini Botta Pirani

Botucatu

2023

C355a

Castro, Evanize Rodrigues

Aportes tecnológicos para o dimensionamento de linhas laterais em sistemas de irrigação por aspersão convencional / Evanize Rodrigues Castro. -- Botucatu, 2023

69 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: João Carlos Cury Saad

Coorientador: Luís Roberto Almeida Gabriel Filho; Vanessa Avancini Botta Pirani

1. Sistemas pressurizados. 2. Laterais de aspersores. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: APORTES TECNOLÓGICOS PARA O DIMENSIONAMENTO DE LINHAS LATERAIS EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

AUTORA: EVANIZE RODRIGUES CASTRO

ORIENTADOR: JOÃO CARLOS CURY SAAD

COORDENADOR: LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO

COORDENADORA: VANESSA AVANSINI BOTTA PIRANI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Engenharia Agrícola, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JOÃO CARLOS CURY SAAD (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu UNESP

Prof. Dr. DANIEL DOS SANTOS VIAIS NETO (Participação Virtual)
Coordenadoria do Curso de Tecnologia em Agronegócio / Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente

Prof. Dr. DIEGO AUGUSTO DE CAMPOS MORAES (Participação Virtual)
Análise e Desenvolvimento de Sistemas / Faculdade Eduvale de Avaré

Prof. Dr. ANTHONY WELLINGTON ALMEIDA GOMES (Participação Virtual)
Agronomia / Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Prof.ª Dr.ª ANA PAULA RUSSO SCHIMIDT JEFERY (Participação Virtual)
Agronomia / Faculdade Eduvale de Avaré

Botucatu, 07 de março de 2023

AGRADECIMENTOS

A Deus, por seu amor incondicional.

A minha mãe, Silvana Silva Rodrigues, pelo amor, carinho, cuidado e por não medir esforços na conquista deste sonho.

Aos meus irmãos, Eduardo Tadeu Rodrigues Castro e Evandro Rodrigues Castro, minha cunhada Cássia Silva Matiolevitz e sobrinha Cecília Matiolevitz Castro, pelo amor, alegria e companheirismo.

Ao Prof. Dr. João Carlos Cury Saad, pela orientação, ensinamentos, paciência e exemplo de professor.

A Profa. Dra. Vanessa Avansini Botta e Prof. Dr. Luís Roberto de Almeida Gabriel Filho, pela assistência, aprendizado e contribuições nesta tese.

A Ana Cláudia Marassá, Arianne Tabari e Natália Ribeiro pela amizade, carinho e incentivo.

À Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” FCA/UNESP e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001 – Número do Processo 88882.433014/2019-01.

RESUMO

A disposição das linhas laterais em sistemas de irrigação por aspersão convencional é de suma importância, pois assegura a uniformidade de aplicação de água e influência no dimensionamento das demais linhas do sistema de irrigação. A complexidade do dimensionamento das linhas laterais aumenta em terrenos em desnível, sendo necessário o uso de recurso e técnicas para a escolha do esquema operacional e configuração da rede hidráulica mais viável. Este trabalho teve como objetivo principal fornecer subsídios para o dimensionamento criterioso de linhas laterais de sistemas de irrigação por aspersão convencional fixo. Para isso foram desenvolvidos dois capítulos. O primeiro capítulo adaptou um método que dimensiona linhas emparelhadas (duas tubulações que se estendem em direção oposta de uma linha de derivação) para sistemas de irrigação por aspersão convencional, aplicável em campo com desnível uniforme. Utilizando este resultado e com apoio da linguagem de programação *Visual Basic for Applications*, uma planilha dinâmica foi desenvolvida. Neste capítulo também foram determinados limites dos valores dos parâmetros que satisfazem a solução do método, permitindo a análise prévia da viabilidade do dimensionamento da linha lateral de forma pareada e, verificando, a necessidade de a carga de pressão mínima não pertencer a uma das extremidades da linha lateral. No segundo capítulo foi desenvolvido um procedimento que aumenta potencialmente o comprimento da linha lateral de aspersores convencional com o uso de aspersores de bocais distintos. O método orienta a escolha de bocais compatíveis de aspersores convencional e define o ponto ótimo de transição entre modelos, respeitando o critério de máxima variação de vazão. As simulações teóricas geraram resultados promissores, com aumento do comprimento da linha lateral na ordem de 30% em comparação com linhas laterais que utilizam apenas um destes aspersores. Um estudo de caso foi validado em campo e mostrou-se eficaz, aumentando dois aspersores, que corresponde a 24 metros a mais no comprimento na linha lateral, apresentado classificação excelente na avaliação da uniformidade de distribuição de água.

Palavras-chave: sistemas pressurizados; redes de distribuição de água; aspersores.

ABSTRACT

Proper design of lateral lines in conventional sprinkler irrigation systems is essential, as it ensures uniformity of water application and influences the sizing of other lines in the irrigation system. The design complexity of the lateral lines increases in sloping terrain, requiring the use of resources and techniques to choose the most viable operational scheme and configuration of the hydraulic network. The main objective of this work was to provide subsidies for the practical design of lateral lines of solid-set sprinkler irrigation systems. For this, two chapters were developed. The first chapter adapted a methodology for paired lines design (two pipes that extend in the opposite direction of a branch line) applied to conventional sprinkler irrigation systems under uniform slopes. A dynamic worksheet was developed using this result and with the support of the Visual Basic for Applications programming language. The values limits of the parameters that satisfy the solution of the method were also determined, allowing the preliminary analysis of the feasibility of the lateral line design in a paired way and verifying the need for the minimum pressure load not to belong to one of the extremities of the line. In the second chapter, a procedure was developed that potentially increases the lateral line length using sprinklers with different nozzles. The method guides the choice of compatible nozzles for conventional sprinklers and defines the optimal transition point between models, respecting the criterion of maximum flow variation. Theoretical simulations generated promising results, with an increase in the lateral line length of 30% compared to lateral lines that use only one sprinkler model. A case study was validated in the field and proved effective, increasing two sprinklers, which correspond to 24 meters more in length on the lateral line, showing an excellent distribution uniformity.

Keywords: pressurized systems; water distribution networks; sprinklers.

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL.....	13
	CAPÍTULO 1 - PAIRED: A spreadsheet for the design of paired sprinkler laterals on uniformly sloping.....	15
1.1	INTRODUCTION.....	16
1.2	Development of the dynamic spreadsheet – PAIRED.....	17
1.3	PAIRED – Application.....	24
1.4	CONCLUSIONS.....	29
	APPENDIX I. PAIRED code.....	30
	APPENDIX II. Determination and analysis of the real root of the Keller and Bliesner (1990) cubic equation.....	34
	REFERENCES.....	40
	CAPÍTULO 2 - Otimização do comprimento da linha lateral utilizando aspersores com diferentes bocais.....	43
2.1	INTRODUÇÃO.....	44
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	45
2.2.1	Determinação do ponto ótimo de troca de aspersores.....	47
2.2.2	Estudo de caso.....	50
2.2.2.1	Caso 1.....	50
2.2.2.2	Caso 2.....	51
2.2.3	Validação em campo.....	51
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
2.3.1	Estudo de caso 1: simulação pelo aplicativo.....	52
2.3.2	Estudo de Caso 2: Simulação pelo aplicativo.....	56
2.3.3	Resultados da validação em campo.....	57
2.4	CONCLUSÕES.....	59
	REFERÊNCIAS.....	60
	APÊNDICE A – Rotina desenvolvida no software MatLab.....	61
	APÊNDICE B – Fluxograma da rotina de programação.....	64
	APÊNDICE C – Sub-rotina NS.....	65
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
	REFERÊNCIAS.....	69

INTRODUÇÃO GERAL

O fornecimento de água via irrigação tem por objetivo atender as necessidades hídricas dos cultivos em localidades onde a lâmina de água fornecida pela precipitação natural não é suficiente ou apresenta distribuição irregular ao longo do ciclo.

A irrigação pode ser realizada por diferentes métodos, como superfície, aspersão e localizada, sendo que cada um apresenta componentes específicos para sua instalação. A escolha do método dependerá das características da cultura, tipo de solo, relevo e clima da região, além da disponibilidade de recursos hídricos (quantidade e qualidade).

Frizzzone, Resende e Freitas (2011) definiram a irrigação por aspersão como a aplicação de água ao solo resultante “(...) da fragmentação de um jato de água lançado sob pressão à atmosfera, por meio de orifícios ou bocais de aspersores”.

Os sistemas de irrigação por aspersão convencional fixo são estratégicos para a agricultura irrigada, pois aumenta a produção de culturas de elevado valor econômico e são utilizados quando a mão-de-obra é escassa e/ou cara (FRIEDMAN, 2022).

Segundo Carvalho et al. (2020), este método é o mais utilizado, com 48% da área irrigada brasileira. E, cada vez mais, eles estão concentrados em pequenas áreas, dimensionados por técnicos que atuam na extensão rural ou em revendas de produtos agrícolas em geral, quando não definidos pelos próprios agricultores irrigantes (SAAD, 2021).

No dimensionamento, o sistema de irrigação deve ser disposto no terreno de forma a estabilizar as pressões, reduzir a potência do conjunto moto bomba e aproveitar a declividade do terreno para ganho de pressão (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006); MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009). Com um projeto adequado, altos valores de uniformidade de aplicação de água em condições de campo são obtidos.

A maior atenção em uma rede hidráulica de irrigação pressurizada são as linhas laterais, que contêm os aspersores. Há um grande potencial de melhoria dos projetos aplicáveis à hidráulica das laterais, sendo que o desenvolvimento de procedimentos matemáticos e a geração de aplicativos com fundamentação conceitual são caminhos para viabilizar esta evolução (SANCHEZ; ZERIHUN, 2017). Desta forma, a tese teve

como objetivo geral desenvolver subsídios para o dimensionamento de linhas laterais de sistemas de irrigação por aspersão convencional.

Já os objetivos específicos foram:

- Adaptar o procedimento de Keller e Biesner (1990) para dimensionamento de linhas pareadas em sistemas de irrigação por aspersão convencional.
- Avaliar o potencial aumento do comprimento da linha lateral com o uso de aspersores com bocais diferentes na mesma linha lateral, definindo o ponto ótimo de transição entre os modelos de aspersores.

Para atingir estes propósitos, foram desenvolvidos dois capítulos nesta tese, sendo o primeiro intitulado “PAIRED: A spreadsheet for the design of paired sprinkler lateral on uniformly sloping”, apresenta uma planilha dinâmica que dimensiona linhas pareadas de aspersores utilizando uma adaptação do método de Keller e Bliesner (1990). E o segundo capítulo intitulado “Otimização dom comprimento da linha lateral utilizando aspersores com diferentes bocais”, que apresenta procedimento para orientar a escolha dos bocais compatíveis para o uso na mesma linha lateral de aspersores convencional, e, também definir o ponto ótimo de transição entre os modelos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os limites dos valores dos parâmetros hidráulicos que satisfazem a solução proposta por Keller e Bliesner (1990), capítulo 1, permitiram uma análise prévia da viabilidade de dimensionar a linha lateral de forma pareada. Este resultado será implementado na rotina de programação da planilha dinâmica PAIRED, tornando-a mais robusta.

O procedimento desenvolvido no capítulo 2 mostrou-se eficaz, aumentando o comprimento da linha lateral de aspersores conjugados na ordem de 30%. O próximo passo é desenvolver um aplicativo com interface gráfica no *Software* MatLab para o aumento da disseminação do procedimento desenvolvido.

REFERÊNCIAS

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006.

CARVALHO, D. F.; MARTINS, R. C. F.; SANTOS, J. J. S.; TELES, G. C.; GENTILE, M. A. D.; OLIVEIRA, M. S. Evolution and current scenario of irrigated area in Brazil: Systematic data analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 8, p. 505-511, 2020.

FRIEDMAN, S. P. Irrigation methods. *In*: FRIEDMAN, S. P. **Reference Module in Earth System and Environmental Sciences**. New York: Elsevir, 2022.

FRIZZONE, J. A.; REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L. **Irrigação por aspersão**. Maringá: EDUEM, 2011.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2009.

SAAD, J. C. C. Subsídios para o dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão convencional. *In*: PAOLINELLI, A.; DOURADO NETO, D.; MANTOVANI, E. C. **Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil: Técnica e cultura**. Piracicaba: ESALQ – USP, 2021, cap. 8, p. 133-154.

SANCHEZ, C. A.; ZERIHUN, D. Irrigation lateral hydraulics with the gradient method. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 143, n. 8, p. 04017023-2, 2017.