

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS CECA
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO AGRONOMIA

ALANA THAIS DE LIMA

**UNIFORMIDADE DE IRRIGAÇÃO EM SISTEMAS AUTOPROPELIDO E
DESLOCAMENTO LINEAR MÓVEL NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Rio Largo

2023

ALANA THAIS DE LIMA

**UNIFORMIDADE DE IRRIGAÇÃO EM SISTEMAS AUTOPROPELIDO E
DESLOCAMENTO LINEAR MÓVEL NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Agronomia da Universidade
Federal de Alagoas, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharelado em
Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra.

Rio Largo

2023

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

L732u Lima, Alana Thais de.

Uniformidade de irrigação em sistemas autopropelido e deslocamento linear móvel na cultura da cana-de-açúcar. / Alana Thais de Lima. – 2023.

42f.: il.

Orientador: Guilherme Bastos Lyra.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Graduação em Agronomia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2023.

Inclui bibliografia.

1. Irrigação por aspersão. 2. Saccharum officinarum. 3. Distribuição e eficiência de água. I. Título.

CDU: 631.67:633.61

Folha de Aprovação

ALANA THAIS DE LIMA

UNIFORMIDADE DE IRRIGAÇÃO EM SISTEMAS AUTOPROPELIDO E DESLOCAMENTO LINEAR MÓVEL NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
banca examinadora do curso de Agronomia da
Universidade Federal de Alagoas e aprovada
em 06 de Fevereiro de 2023.

Documento assinado digitalmente
 GUILHERME BASTOS LYRA
Data: 03/04/2023 18:24:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Orientador - Drº, Guilherme Bastos Lyra,
Universidade Federal de Alagoas - UFAL)

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 ADOLPHO EMANUEL QUINTELA DA ROCHA
Data: 03/04/2023 16:24:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Examinador Externo – Drº, Adolpho Emanuel Quintela da Rocha,
Universidade Federal de Alagoas - UFAL)

Documento assinado digitalmente
 IVOMBERG DOURADO MAGALHÃES
Data: 03/04/2023 16:30:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Examinador Interno – Drº, Ivomberg Dourado Magalhães,
Universidade Federal de Alagoas - UFAL)

À minha mãe, família e amigos, pelo incentivo
e confiança.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus e a Nossa senhora por sempre estarem à frente iluminando meus objetivos, meus sonhos, pelo dom da vida e por todas as benções que recebi até aqui;

A minha mãe Regina Emilia de Lima, por sempre sonhar junto comigo, a todos familiares e amigos que estiveram presentes durante esta caminhada;

A minha amada avó Marlene Emilia de Lima (*In memoriam*);

A Universidade Federal de Alagoas, ao Centro de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) e a todos os professores por cada aprendizado;

Ao professor Dr. Guilherme Bastos Lyra, por aceitar ser meu orientador, pela dedicação, pelos conselhos, por cada ensinamento e pela amizade;

Ao professor Adolpho Emanuel Quintela da Rocha, por toda ajuda na realização deste trabalho;

Ao Dr. Pedro Luã Vieira de Souza Sarmento, pela disponibilidade, por cada ensinamento e por ter contribuído com minha pesquisa;

Ao Superintendente Agrícola Leonardo Pinto e a todos do corpo da Usina Santa Clotilde S/A (Allan, Alex, Mauricio), por cada etapa vivida e pela oportunidade;

A todos que de alguma forma, contribuíram ou estiveram presentes antes, ou durante desta caminhada.

A TODOS, OBRIGADA!

RESUMO

A cana-de-açúcar é considerada uma monocultura importante devido ao seu potencial como matéria-prima para a produção de açúcar e etanol. Devido suas características é uma cultura que necessita do auxílio hídrico para obtenção de altas produtividades por área cultivada quando dispostas em condições climáticas desfavoráveis ao seu desenvolvimento. Atualmente, sistemas de irrigação vêm tomando espaço no mercado com objetivo em distribuir água nos talhões de forma a requerer a necessidade hídrica da cultura em forma de gotas, sua escolha leva em conta diversas variáveis, como, clima, topografia, solo, cultura, mão-de-obra, entre outros. É ideal analisar periodicamente os sistemas e seus implementos que podem influenciar negativamente na uniformização e distribuição de água precipitada. Com base na pesquisa realizada, este trabalho tem por objetivo avaliar a uniformidade e eficiência de dois sistemas de irrigação. Selecionou-se os equipamentos em Dimensionamento Linear tendo cerca de 300 metros com duas repetições e três diferentes Autopropelidos pertencente à Usina Santa Clotilde S/A, na região de Rio Largo, Alagoas. No teste foi distribuídos coletores na busca em comparar quais sistemas de irrigação se destacaria melhor na qualidade de distribuição; Utilizando dois efluentes diferentes nos sistemas para as posteriores análises estatísticas; Analisando a capacidade de uniformidade de aplicação de água do aspersor, operando em condições edafoclimáticas diferentes. O equipamento em dimensionamento linear apresentou resultados satisfatórios de CUC, sendo 96,67% e 80,06%, respectivamente. CUD (60,53% e 55,81%) e CUE (75,98% e 76,73%) foram considerados razoáveis estatisticamente, por apresentar média condição. O Autopropelido que mais se destacou foi o IrrigaBrasil com CUD de 68,14%.

Palavras-chave: Irrigação por aspersão; *Saccharum officinarum*; Distribuição e eficiência de água.

ABSTRACT

Sugarcane is considered an important monoculture due to its potential as a raw material for sugar and ethanol production. Because of its characteristics, it is a culture that requires water assistance to obtain high productivity per cultivated area when placed in unfavorable climatic conditions for its development. Currently, irrigation systems have been taking space in the market with the goal of distributing water on the fields in order to require the crop's water needs in the form of drops, this choice takes into account several variables, such as climate, topography, soil, culture, hand labor, among others. It is ideal to periodically analyze the systems and their implements that can negatively influence the uniformity and distribution of precipitated water. Based on the research carried out, this work aims to evaluate the uniformity and efficiency of two irrigation systems. The equipment was selected in Linear Sizing having about 300 meters with two repetitions and three different self-propelled belonging to Usina Santa Clotilde S/A, in the region of Rio Largo, Alagoas. In the test, collectors were distributed in the search to compare which irrigation systems would stand out better in terms of distribution quality; Using two different effluents in the systems for subsequent statistical analyses; Analyzing the water application uniformity capacity of the sprinkler, operating in different edaphoclimatic conditions. The equipment in linear dimensioning presented satisfactory CUC results, being 96.67% and 80.06%, respectively. CUD (60.53% and 55.81%) and CUE (75.98% and 76.73%) were considered statistically reasonable, as they presented average condition. The self-propelled that stood out the most was IrrigaBrasil with a CUD of 68.14%.

Keywords: Sprinkler irrigation; *Saccharum officinarum*; Water distribution and efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa produtivo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas	17
Figura 2 - Sistema de irrigação autopropelido com aspersor canhão	20
Figura 3 - Exemplo de sistema linear móvel do tipo aspersor.....	22
Figura 4 - Localização do município de Rio Largo - AL	24
Figura 5 - Barragem instalada ao curso da Bacia Hidrográfica do Pratagy	26
Figura 6 - Hastes e coletores empregados no ensaio	27
Figura 7 - Tabela de precipitação HR 125 - aspersor Gemini Twin 4".....	28
Figura 8 - Valores de CUC, CUD E CUE - (%), no sistema linear.	33
Figura 9 - Comparativo de distribuição de lâminas precipitadas - (mm)	34
Figura 10 - Parâmetros hídricos analisados	37
Figura 11 - Sobreposição de lâminas fertirrigadas em sistema Irriga Brasil.....	37
Figura 12 - Sobreposição lâminas coletadas em na repetição Setorial I.....	38
Figura 13 - Sobreposição lâminas coletadas em na repetição Setorial II.....	38
Figura 14 - Sobreposição lâminas coletadas em na repetição Setorial III	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resumo Mensal e Anual de Variáveis da Estação Agrometeorológica, CECA/UFAL, Rio Largo-AL, ano de 2022.	25
Tabela 2 - Classe de desempenho dos sistemas de irrigação em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e CUD e CUE, de acordo com a classificação proposta por Mantovani (2001).	29
Tabela 3 - Resultado dos Coeficientes de Uniformidade de Distribuição - CUD.	35
Tabela 4 - Parâmetros comparativos dos sistemas Autopropelido	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	Capacidade de armazenamento de água disponível
TCH	Tonelada de cana por hectare
CUC	Coeficiente de Uniformidade de Christiansen
CUD	Coeficiente de Uniformidade de Distribuição
CUE	Coeficiente de Uniformidade Estatístico
ETC	Evapotranspiração da Cultura
HA	Hectare
TON	Tonelada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Importância da irrigação e seus impactos.....	17
2.1.1 Autopropelido e o uso da vinhaça nos canaviais agrícolas.....	19
2.1.1.1 Dimensionamento Linear Móvel	21
2.1.1.1.1 Fator de uniformidade dos sistemas irrigantes	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1 Coeficientes estatísticos utilizados	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é considerada uma cultura fundamental, devido ao grande potencial na produção de açúcar e etanol. Sobretudo, necessita em alguns casos ambientais e fisiológico do auxílio hídrico para obtenção de altas produtividades por área cultivada. No Brasil, a irrigação proporcionou aumento na safra 2020/2021, dos quais, atingiu milhões de toneladas e reduziu perdas de produção em 3% comparando-se com a anterior. Já a safra de 2021/2022 obteve 585,2 milhões de toneladas, representando um volume de matéria-prima 10,6% menor em relação ao da safra anterior. Essa redução se deve à diminuição de 3,5% na área cultivada e, sobretudo, aos efeitos climáticos adversos da estiagem durante o ciclo produtivo com variações de temperaturas registradas (CONAB, 2021).

Com a escassez cada vez mais acentuada dos recursos naturais e oscilações de chuva, a utilização dos sistemas de irrigação é uma prática que tem por objetivo distribuir água nos talhões de forma a requerer a necessidade hídrica da cultura. Cada equipamento possui vantagens e desvantagens que devem ser criticamente observada juntamente com as análises técnicas e econômicas. A escolha de um sistema de irrigação leva em conta diversas variáveis, como, clima, topografia, solo, cultura, mão-de-obra, entre outros. A finalidade concreta é que o equipamento escolhido deve ser empregado para compensar os problemas naturais e técnicas incorretas de manejo.

Inúmeros fatores podem influenciar a uniformização de distribuição dos equipamentos irrigantes, com isso, é essencial certificar-se que o sistema está em condições aceitáveis de funcionamento para evitar desperdícios desnecessários através de avaliações de campo e interpretações dos coeficientes estatísticos (NETTO e BASTOS, 2013). Desse modo, o planejamento e o dimensionamento são fundamentais para as tomadas de decisões sobre o parcelamento da área a ser distribuída.

O Estado de Alagoas possui climas semiárido e tropical, tendo em média, temperaturas quentes com altas incidências de radiação solar, principalmente, nas regiões do agreste onde a disponibilidade do uso da água é limitada. A presença de calor superior ao mecanismo de defesa da planta pode provocar limitações no desenvolvimento fisiológico. Além disso, o Estado se destaca por sua diversificação de usinas sucroenergética, localizadas a maioria na região leste devido suas características serem ideais para o semeio do canavial.

Os sistemas de irrigação do tipo Aspersão Autopropelido e Descolamento Linear Móvel proporcionam facilidades e praticidades por possuir emissores que são acionados por pressão com função específica em distribuir água sobre a superfície do solo na forma de gotas, assemelhando-se à chuva. Diversos são os benefícios diretos em áreas cultivadas com cana e irrigadas, pois, consiste em aumento de matéria prima e ajuda na longevidade das soqueiras (Matioli, 1996).

A vinhaça é um subproduto surgido com a fabricação do etanol, rico de diversos nutrientes, como Potássio, Cálcio, Sódio e Nitrogênio. Além disso, por apresentar índices favoráveis de matéria orgânica é considerado um fertilizante adubo solúvel distribuído aos canaviais via água de fertirrigação. É essencial para promover taxas significativas ao solo, gerando aumento nos teores minerais com um capital bastante favorável economicamente aos grandes e pequenos produtores. Outros diversos benéficos são gerados com a utilização deste subproduto nos canaviais, como, resultados positivos obtidos na produtividade agrícola ao final de cada safra (t de cana/ha). Com tudo, a distribuição direta do vinhoto nos canaviais sem que haja nenhuma especialização, atingem negativamente a qualidade tecnológica da cultura, em especial as soqueiras, devido a dosagens elevadas e incorretas.

Saber a dosagem adequada por hectare serve para determinar a necessidade complementar dos minerais em cada pedologia dos solos agrícolas, com isso, é essencial respeitar e atingir um estado nutricional com produtividade acentuada da cana-de-açúcar. A quantidade despojada é muito variável devido à grande diversificação dos tipos de solos brasileiros, no entanto, níveis corretos de distribuição, promovem a substituição da adubação por apresentar acréscimo médio de colmos, aumento significativo de pol e açúcar total recuperável (ATR).

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a uniformidade e eficiência de dois sistemas de irrigação, sendo, Dimensionamento Linear e Autopropelido na cultura da cana-de-açúcar, visando alcançar o suprimento hídrico da cultura e atingir os níveis nutricionais com o uso da fertirrigação.

Diante do exposto, os objetivos específicos foram:

- Avaliar comparativamente quais sistemas de irrigação se destaca melhor na qualidade de distribuição;
- Utilizar dois efluentes diferentes nos sistemas para as posteriores análises estatísticas;
- Analisar a capacidade de uniformidade de aplicação de água do aspersor, operando em condições edafoclimáticas diferentes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é considerada uma monocultura da família Poaceae, semi-perene, típica de climas tropicais e subtropicais. Sua produção ocupa o terceiro lugar no Agronegócio Brasileiro por apresentar características ideais ao clima do país. Sob ponto morfológico, possui caules subterrâneos, robustos, fibrosos e articulados compostos por nós e entrenós, ricos em açúcar sacarose que são armazenados em forma de colmos. Apresenta, também, pelos, folhas completas, inflorescência tipo panícula aberta, frutos cariopses, rizomas com nódios e raízes fasciculadas que se desenvolve em forma de touceira (Melo et al., 2007).

Existem cinco diferentes espécies de cana-de-açúcar, a *Saccharum Officinarum* apresenta taxas altíssimas de açúcar e baixa fibra, sendo então, a mais utilizada nos plantios agrícolas; *Saccharum Spontaneum* não é considerada viável industrialmente, por apresentar colmos curtos, finos e alto teor fibroso; *Saccharum Simensis* possui potencial vegetativo em solos improdutivos e secos; *Saccharum Barberi* resiste a clima frio e apresenta teor médio em açúcar; *Saccharum Robustum* são selvagens e adéqua-se há diversas condições ambientais (Cronquist, 1981).

A inovação tecnológica vem desenvolvendo novas cultivares geneticamente modificadas, com objetivo em conseguir adaptações nos diversos ambientes e climas do país. Além disso, estes novos genótipos estão ficando cada vez mais resistentes a pragas, doenças e plantas invasoras. Estas tomadas de decisões ocorrem para evitar que fatores influam negativamente na baixa produtividade. Um destaque comercial nos Estados nordestinos é a variedade RB92579, criada pela a rede interuniversitária – Ridesa (RB) (Iac, 2023).

Na região Alagoana, compreendem-se dois ciclos de semeadura. Na estação de verão, a cana-de-açúcar necessita de uma intensidade maior de lâmina hídrica por apresentar variações nas temperaturas, chegando em média 24°C/dia . No inverno o plantio acontece nos intervalos de Abril e Agosto, neste período, ocorre uma frequência precipitadas de chuvas que não necessita de sofisticados equipamentos irrigantes para suprir a necessidade hídrica mensal da cultura.

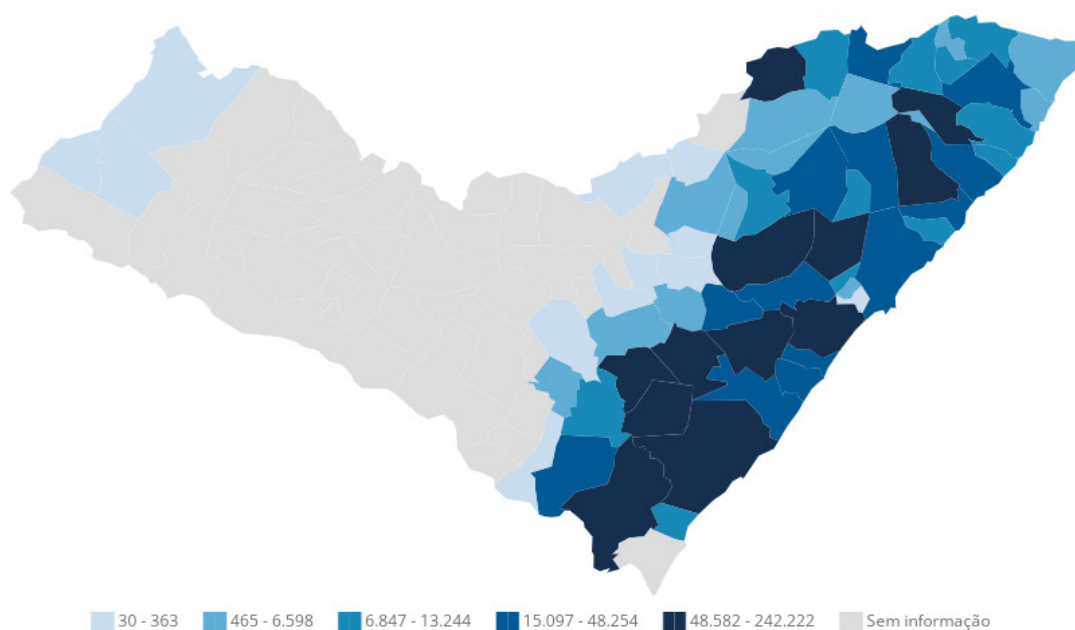
A colheita dos canaviais no Estado de Alagoas acontece no momento em que a planta chega aos níveis ideais de maturação. Neste momento, esta cultura apresenta uma redução na síntese de hormônios, por possuir um reequilíbrio em seu metabolismo e ajudar na interação dos fotoassimilados direcionados ao acúmulo de sacarose (Marchiori, 2013).

2.1 Importância da irrigação e seus impactos

A irrigação possui um papel fundamental para a redução de riscos improdutivos, é um sistema que alcança benefícios sob quantidade controlada por meio de equipamentos artificiais de chuva. Sua utilização é garantia de longevidade agrícola compatível com os objetivos do cultivo. Com isso, as vantagens são evidente com o aumento da produtividade e índice de renda favorável ao agricultor, geração de emprego, ajuda nos métodos de rotação de culturas e estimula a umidade do solo. Tendo em vista que existem diferentes métodos deste sistema hídrico, tais como, por aspersão, superfície, localizada, sulcos, fixos, a escolha do irrigante deve andar lado a lado com a cultura e com as características ambientais (SENAR, 2019).

O Brasil consta com aproximadamente 8,2 milhões de hectares equipados para irrigação, sendo 64,5% (5,3 milhões de hectares) com água de mananciais e 35,5% (2,9 milhões de ha) fertirrigados com água de reuso advinda da produção do etanol (Atlas Irrigação, 2021). O Estado de Alagoas no ano de 2021 atingiu 17.419,082 ton e área colhida de 290.462 hectares, totalizando um rendimento médio de 59.970 Kg/ha, ou seja, as áreas estão em constante processo evolutivo e necessita periodicamente de auxílio hídrico para atingir as metas de produção, conforme a *Figura 1* (IBGE, 2011).

Figura 1- Mapa produtivo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas



Fonte: IBGE (2021).

O solo possui características pedológicas diferentes em diversos ambientes, podendo apresentar propriedades sólidas, líquidas e gasosas. O controle de umidade do solo é um essencial depósito de armazenamento que serve para ajudar as raízes na absorção de água e nutrientes, visto que o volume de água disponível na terra varia conforme a estação do ano. Logo, com o auxílio de métodos diretos de medição é possível determinar a época e quantidade de lâmina a ser aplicada na irrigação, sem que haja excessos desnecessários, respeitando desta forma, a capacidade total de água no solo (CTA), capacidade de campo (Cc) e ponto de murcha permanente (Pm) de modo a favorecer a manutenção e o fortalecimento vegetal. (Rodrigues, 1990).

No decorrer do tempo há um grande avanço nas metodologias ativas hídricas, podendo este variar por diversos motivos, como, topografia, disposições de canais, clima, tubulações e outras estruturas. A irrigação total, é responsável por abastecer toda necessidade hídrica do vegetal; De salvação, ocorre somente durante um determinado período do cultivo; Suplementar, busca atender a demanda evapotranspirométrica, onde se divide, sendo, uma parte comportada da irrigação e outra da precipitação efetiva; Com déficit podem ser executada durante todo o ciclo de desenvolvimento ou somente nas fases não críticas por irrigação total ou suplementar (Embrapa, 2022).

Com o avanço de novas tendências tecnológicas o agronegócio mantém a necessidade de correções na eficiência na drenagem agrícola e na efetiva aplicação dos tradicionais instrumentos de gestão da água. Desta maneira, o uso de equipamentos serve para elevar índices significativos de produção por área plantada. O Brasil possui potencial suficiente para se manter em crescimento produtivo, mas, precisará de um mercado cada vez mais especializado que busque capacitar profissionais do campo com objetivo em suprir a demanda crescente de produtos, em especial, àqueles exportados (Embrapa, 2018).

Nos períodos mais quentes do ano ocorre uma taxa de necessidade maior por demanda de água, com isso é importante tomadas de decisões sobre o parcelamento adequado de distribuição. Deve ser ressaltado, um grande mecanismo natural que ocorre nas diversas plantas, chamado de dispensação de água através das aberturas dos estômatos para atmosfera na forma de vapor num processo chamado transpiração. No entanto, um exemplo destaque, é com relação a cana-de-açúcar plantada em áreas que apresentam temperaturas elevadas por possuírem uma estrutura de defesa com o fechamento destes estômatos evitando perder excessos de água transpirada as primeiras fases de crescimento vegetativo (Reichards, 2004).

A cultura canavieira necessita em média 1.500 a 2.500 mm/anualmente e 60 mm/mês. É importante que a irrigação seja realizada logo após a semeadura e logo após a colheita em estado de socaria. Não havendo um método de distribuição de água na propriedade ou interrupção deste manejo, os vegetais podem ser severamente atingidos ao experimentarem situações de estresse. O déficit hídrico, afeta diretamente o sistema radicular e restringe o desenvolvimento, gerando perdas acentuadas em TCH (Toneladas de cana por hectare) e baixas rentabilidades na produção industrial (Embrapa, 2022).

Desse modo, a longevidade dos cultivos nas regiões do Nordeste brasileiro sofre acentualmente pela intensidade radioativa, visto isto, necessita do auxílio da irrigação para atingir o consumo hídrico diário e/ou mensal da cultura. No entanto, não basta apenas irrigar, pois, quando mal conduzida não trás bons resultados, causando degradação do solo e perdas desnecessárias. Afinal, é preciso conduzir-lo corretamente na busca em produzir boas produtividades (Testezlaf, 2017).

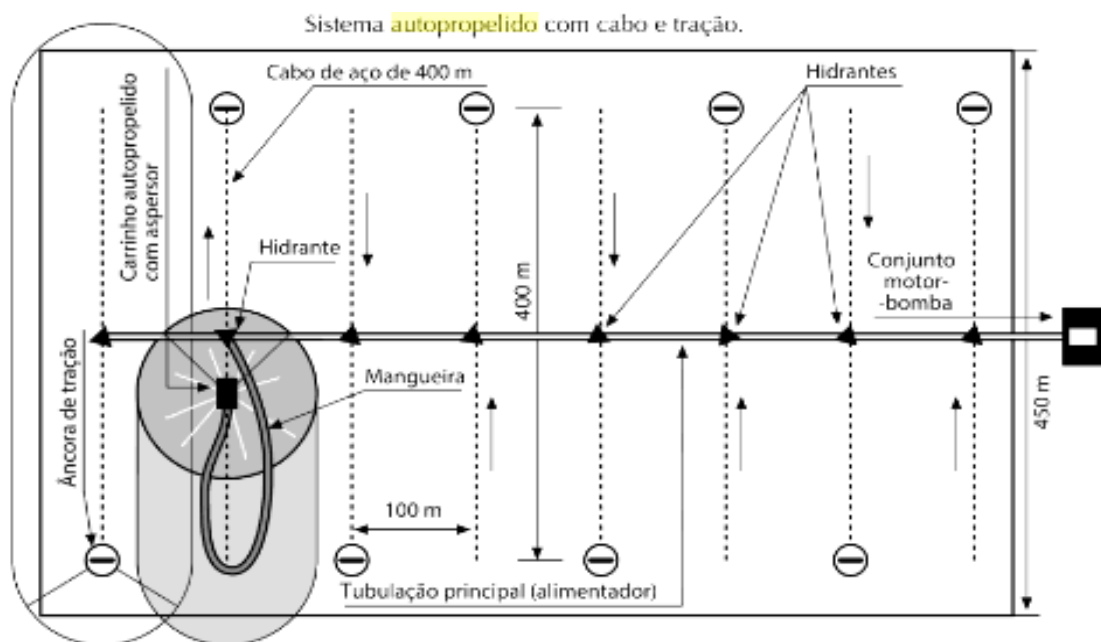
2.1.1 Autopropelido e o uso da vinhaça nos canaviais agrícolas

O sistema de irrigação Autopropelido chegou ao Brasil nos anos de 1975, tendo por objetivo reduzir o déficit hídrico das culturas e manter equilibrando a umidade do solo. Seu funcionamento basea-se no deslocamento sobre tração do uso de cabo de aço ou com a própria mangueira flexível de polietileno de média densidade para provocar o movimento do aspersor, instalado sobre um chassi com duas ou quatro rodas pneumáticas, devido ao tracionamento provocado pelo enrolamento da mangueira. (Folegatti, 1997). Portanto, é um auxílio que apresenta uma constante taxa de crescimento produtivo, que por muitas vezes necessita de alternativas relacionado ao uso da irrigação a fim influir na elevação de produtividade.

Neste contexto, é um equipamento que possui um processo de automatização que vem reduzindo bastante os gastos com mão-de-obra por apresentar praticidade. Por constar com sua utilização crescente nas áreas agrícolas, inúmeras metodologias visam obter sua uniformidade de distribuição de água para melhor garantir um desempenho planejado. A cultura que mais aceita os equipamentos Autopropelido é a monocultura da cana-de-açúcar, por ter a opção de utilizar o subproduto riquíssimo em nutrientes, conhecido como vinhaça, utilizado em forma de fertilizante. Além do mais, serve também na distribuição de água limpa advinda dos mananciais que contribuem para seu uso de forma adequada (Scaloppi e Colombo, 1995).

Ademais, é composto por um aspersor hidráulico, acoplado em uma plataforma móvel, possui mangueira de polietileno com recolhimento cinético, cabo de aço, tração, tubulação, motobomba e outros (Figura 2) (BERNARDO, 2006). Diante disto, adapta-se em diversos tipos de cultivos, em especial, naqueles que precisam de uma irrigação estável ou um fluxo constante de água e seu conjunto de tubulação é portátil permitindo que a linha lateral seja movimentada em diversas posições sobre a área irrigada

Figura 2 - Sistema de irrigação autopropelido com aspersor canhão



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

O aspersor utilizado distribui jatos de água sobre a superfície do terreno em sentido giratório completo ou setorial com regulagem e amplitude manual ou mecânica. Quanto maior a textura do solo maior é capacidade de infiltração. Uma das inúmeras vantagens do autopropelido é permitir que seu funcionamento ocorra em períodos diurnos e noturnos, em terrenos de encostas, terraços e platôs mais elevados. Desvantagens existem, com o consumo de energia elétrica ou com o uso expressivo de combustível diesel, gasolina nas motobombas, além de exigir a necessidade em apresentar pressões de serviço constantes no canhão para não ocasionar perdas indesejáveis na operação. As condições edafoclimáticas são os principais fatores que afetam negativamente o uso da irrigação neste sistema, por que, afeta a uniformidade de distribuição que varia com ordem de 75% a 90% gerando perdas por evaporação atmosférica (Bernardo; Soares; Mantovani, 2006).

2.1.1.1 Dimensionamento Linear Móvel

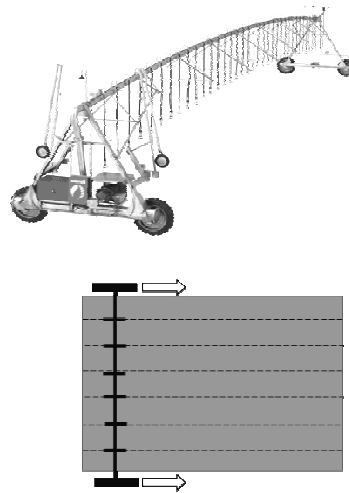
A irrigação linear é responsável pela irrigação de milhares hectares com plantações de cana-de-açúcar, e outras culturas em todo o mundo. No Brasil, o sistema foi introduzido em meados de 1986 e desde então vem ganhando espaço por apresentar praticidade de manejo junto ao agricultor. No ano de 2002 foi instalado o terceiro maior sistema deste tipo no Brasil para uma área de 436 ha e em 2003 foi instalado no cerrado o maior linear do mundo, capaz de irrigar até 800 ha (CULTIVAR, 2014).

Para a implantação do sistema, primeiramente é importante saber o tamanho a ser irrigada, qual a pedologia e / ou tipo solo presente no local, a cultura e variedade escolhida, saber o nível de declividade topográfica do talhão, observar se tem disponível fonte de energia seja a diesel ou elétrico, analisar a intensidade do vento e velocidade histórica, dados meteorológicos médios da região, como, a temperatura por influenciar bastante nas perdas com evaporação, ou seja, são os dados básicos que o agricultor deve obter para que possa ser confeccionado um projeto/orçamento de um sistema linear, observar a disponibilidade local com mão de obra tendo a necessidade técnica para operar, realizar os reparos e manutenção. Porém, alguns parâmetros mais técnicos podem indicar a viabilidade ou não deste sistema com o auxílio de empresas consultorias especialistas (Mantovani, 2006).

O projeto deve ter o foco dos quais objetivos foram definidos e as condições da área analisada que potencialmente atendam as condições necessárias para o melhor desenvolvimento da cultura. É comum no Brasil que os agricultores irrigantes busquem em conter equipamentos compatíveis com sua plantação, independente de existir outros sistemas mais viáveis e que aplicam a água com maior uniformidade e eficiência e com menores riscos ambientais (Faria et al., 2009).

O sistema linear é um equipamento considerado mecanizado por apresentar facilidade de deslocamento, comporta duas ou quatro rodas em cada extremidade do tipo pivotante que permite girar e colocar as rodas no sentido do deslocamento que facilitam irrigar diversas áreas. É recomendado para terrenos que possua topografia plana, retangulares ou quadradas. A distribuição de água funciona sobre a área em sentido linear através de uma tubulação com tubos de aço de distribuição ou linha lateral montado a partir de uma torre de controle. Os aspersores podem ser fixos ou estacionários com determinados espaçamentos compatíveis para fornecer uma precipitação uniforme ao longo da linha (Testezlaf, 2015).

Figura 3 - Exemplo de sistema linear móvel do tipo aspersor



Fonte: Adaptado de Freed3 (2022).

Os objetivos gerais dos equipamentos lineares são muito semelhante aos de pivô central, ambos distribuem vazões hídricas sobre as plantas e a superfície do solo em forma de gotas, apresenta baixa demanda de mão-de-obra, facilidades em fornecer corretas uniformidades, possibilita a aplicação de fertilizantes na forma de fertirrigação ou águas limpas dos mananciais. Outro fator importante é conseguir controlar a quantidade da lâmina d'água e a velocidade de deslocamento (Testezlaf, 2015).

Sabe-se que além de benefícios a irrigação pode propiciar impactos negativos diante de sistemas inadequados e má operação. Conforme Andrade e Brito (2006), existem algumas principais restrições desse método, como, gastos para instalação e operações são mais altos quando comparamos com alguns outros meios irrigantes, como por exemplo, os do método por superfície; a aplicação de água salina na irrigação ou submetida à precipitação de sedimentos que podem diminuir a vida útil do equipamento e de seus componentes. Outro fator importante a destacar é com relação ao meio ambiente, podendo quantidades exageradas estimular o solo a tornarem-se impróprios devido às porcentagens altas de salinização, isto, torna o ambiente improdutivo para a agricultura.

Uma desvantagem comprovada é que os equipamentos de irrigação não possuem garantia de que a água terá eficiência uniforme de 100% durante os horários de operação. As águas distribuídas podem se perder por evaporação das plantas, a deriva do vento é capaz de contaminar áreas adjacentes se ela contiver algum tipo de agroquímicos ou fertilizantes. , escoamento superficial ocorre sempre que a intensidade precipitada é superior a capacidade de infiltração do solo, por fim, a percolação profunda causa perdas de nutrientes e lixiviação devido ao excesso de volumes aplicados (Hart, 1965).

2.1.1.1.1 Fator de uniformidade dos sistemas irrigantes

De acordo com Faria et al., 2009 e Justi et al., 2010 , a uniformidade de distribuição de água nos diversos aparelhos de irrigação é de extrema importância para obter melhores eficiências de aplicação por raio molhado. A desuniformidade diminui o retorno investido e acrescenta negativamente nos impactos ambientais do solo, fauna, flora, além de reduzir na produtividade (T/ha).

Não da importância a determinados desempenhos funcionais dos sistemas de irrigação é uma atitude perigosa que acarreta negativamente a desuniformidade tecnologica de aplicação e elevar prejuízos econômicos relevantes na agricultura irrigada (Rodrigues, 1990). Pensando nisto, existem diversos métodos que expressam a quantidade de superposição de valores precipitados em mm por área irrigada. Pensando nisso, pesquisam buscam em constante evolução solucionar problemas com o uso de coeficientes estatísticos que pode ser utilizado por qualquer agricultor irrigante. Segundo Bernardo et.al (2006), os parâmetros mais utilizados atualmente são os estatísticos, como, Uniformidade de Christiansen (CUC), recomendado por (Christiansen, 1942) e Uniformidade de Distribuição (CUD), por (Criddle et al., 1956).

É pratico e fácil analisar os sistemas de irrigação, mas, infelizmente poucos sabem, seja por falta de conhecimento ou até mesmo déficit com orientação técnica (Albuquerque, 2013). É necessário saber que os testes instalados em campo ocorrem de modo que a água é lançada com o auxílio de aspersores no sentido dos coletores estes que devem ser distribuídos em espaçamentos diferenciados. Outra técnica, bastante utilizada é posicionar apenas um pluviômetro próximo a área que está recebendo determinadas lâminas para simular os valores de perdas através dos coeficientes de uniformidade. O ideal é realizar duas a três análises para uniformizar os dados sobrepostos, ou seja, procurar fazer o máximo de repetições (Hart, 1965).

Saber os problemas causadores diante das simplicidades de cálculos é a certeza em elevar, corrigir, e agir para regular possíveis influencias do vento, regular as pressão de serviço, rotação e sentido dos aspersores, altura das hastes, vazão distribuída. Sabe-se que os dados de uniformidade não devem ser utilizados exclusivamente como índice de eficiência, pois, existem outros fatores que colaboram para uma análise crítica. Um bom dimensionamento gira em média 80% de eficiência quando realizado em condições edafoclimáticas adequadas (Bernardo et.al , 2006).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Usina Santa Clotilde S/A, localizada no município de Rio Largo – AL. O clima da região, de acordo com a classificação de Thornthwaite & Matter é caracterizado úmido, mega térmico e apresenta deficiência de água moderada no verão e excesso de água no inverno (Ferreira Júnior et al., 2014). A temperatura e umidade relativa do ar giram em média 25,4°C. A precipitação pluvial é de 1.800 mm, 70% distribuídos nos meses de abril e agosto. Os solos são profundos com baixa fertilidade natural, sendo do tipo Latossolos e Argissolos, Gleissolos e Neossolos Flúvicos (Souza, et al., 2004).

Figura 4 - Localização do município de Rio Largo - AL



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

As condições meteorológicas da região foram fornecidas pela estação automática do Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia - LIA, da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, instalados, aproximadamente, a 4,8 km da usina. Os dados, como, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, irradiação solar global, precipitação pluvial e evapotranspiração de referência (Tabela 1), foram obtidos nos meses de Janeiro, Fevereiro, Março de 2022, quando ocorreram as práticas e coletas das análises. Além destes parâmetros, a velocidade e direção do vento foram coletadas com o auxílio do equipamento termo anemômetro no início, meio e final das distribuições de água nos emissores.

Tabela 1- Resumo Mensal e Anual de Variáveis da Estação Agrometeorológica, CECA/UFAL, Rio Largo-AL, ano de 2022.

Variáveis		MESES		
		Janeiro	Fevereiro	Março
Temperatura do ar (°C)	Média	25.9	26.5	25.5
	Mínima	20.2	21.3	21.4
	Máxima	33.2	34.1	32.5
Umidade do ar (%)	Média	71.9	64.5	68.5
	Mínima	36.1	33.6	40.2
	Máxima	89.3	85.7	85.3
Velocidade do Vento 2 m (m s ⁻¹)	Média	1.5	1.6	1.3
Irradiação Solar Global (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	Média	20.9	23.5	18.0
Precipitação Pluvial (mm)	Total	97.0	6.1	296.7
Evapotranspiração de referência (mm)	Total	142.2	154.5	124.1

Fonte: Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia – LIA, (2022).

A média de temperatura variou entre 25°C a 26°C e irradiação solar de 20°C a 23°C tornando com isso a cana mais vulnerável ao estresse oxidativo, lesão por calor e necrose tecidual. Isso resulta no decrescimento crescimento vegetativo e rendimento de colmos reduzidos e, às vezes, na baixa produtividade. Houve uma intensidade maior de precipitação pluvial (mm) nos meses de Janeiro e Março, sendo considerado um fator que ajudou bastante no desenvolvimento e estabelecimento dos canaviais.

Água empregada ao estudo foi coletada diretamente do manancial instalado diretamente ao curso da Bacia Hidrográfica do Pratagy com capacidade de 18 milhões de m³. A barragem é de propriedade da usina e foi construída por esta em um local estratégico próximo as suas principais fazendas na busca em aumentar os teores de TCH e Açúcar Total Recuperável - ATR Figura 5.

Figura 5 - Barragem instalada ao curso da Bacia Hidrográfica do Pratagy



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para o início das análises, utilizou-se equipamentos equivalentes a safra 2021/2022. O primeiro fator proposto foi a escolha de três fazendas distintas, sendo, Canoas, Silvana e Milagres para melhor ajudar nas comparações posteriores. Antes do início das avaliações foi realizado uma revisão em todos os equipamentos e seus respectivos implementos, a fim de evitar surpresas indesejáveis durante o processo avaliativo. Buscou por selecionar dois equipamentos, Sistema Móvel Linear de marca Valley e Autopropelido das marcas opostas Irriga Brasil e Setorial.

Os coletores pluviômetros foram de copo descartáveis de 300 mL - (diâmetro de abertura de 8 cm, raio 4 cm, área de 0,005024 m²) acoplados em hastes de alumínio com um suporte no centro da base em tamanho padrão. Este meio possibilitou que ambos fossem reutilizados nas avaliações posteriores, no padrão da (Figura 6).

Figura 6 - Hastes e coletores empregados no ensaio



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O primeiro teste avaliativo aconteceu na decisão de irrigar áreas distintas com o auxílio dos Autopropelido utilizando-se a fertirrigação concentrada em áreas de socaria na Fazenda Silvana. A água limpa da barragem serviu para irrigar as canas semente na Fazenda Cuia Velha e Milagres.

Foram distribuídas quatro linhas coletoras, dividindo-se em duas ao lado direito – LD e duas ao lado esquerdo – LE na posição perpendicular a direção de deslocamento. As hastes foram inseridas ao solo em 0,5 m. No total, foram 80 coletores, distribuídas em 40 unidades em cada lado da mangueira, o espaçamento se deu à 3 metros ente coletores, a partir do carrinho uma distância de 1,5 m e 6 m entre linhas, ficando um espaço no centro para não impossibilitar o recolhimento e a passagem da plataforma móvel. De modo geral, as linhas ficaram dispostas a uma distância de 80 m do início e final da faixa do carreador.

As quantidades de repetições nas marcas setoriais ocorreram em três vezes e uma no Irriga Brasil. A precipitação distribuída aos coletores foram medidas com o um curro de 250 mL e anotadas em ordem que serviram como base para a continuidade do planejamento metodológico e para uma melhor compreensão dos cálculos estatísticos respeitando como base a tabela de precipitação padrão do aspersor (Figura 7).

Figura 7 - Tabela de precipitação HR 125 - aspersor Gemini Twin 4"

TABELA PRECIPITAÇÃO HR 125 - ASPERSOR GEMINI 4" / TWIN 202 / EXPLORER																
BOCAL CONICO (mm)	34 / 35			36 / 37,5			38 / 40			VELOCIDADE DE RECOLHIMENTO DA MANGUEIRA (m/s)	TEMPO DE IRRIGAÇÃO NA FAIXA 300 m (horas)	TEMPO DE IRRIGAÇÃO NA FAIXA 350 m (horas)	TEMPO DE IRRIGAÇÃO NA FAIXA 400 m (horas)	TEMPO DE IRRIGAÇÃO NA FAIXA 450 m (horas)	TEMPO DE IRRIGAÇÃO NA FAIXA 480 m (horas)	
PRESSIONE NO ASPERSOR (kgf/cm²)	3,0	4,0	5,0	3,0	4,0	5,0	3,0	4,0	5,0		15:00	17:30	20:00	22:30	24:00	
ESPACAMENTO (m)	78	78	78	84	84	84	84	84	84	20	12:00	14:00	16:00	18:00	19:10	
VAZÃO (m³/h)	83	95	107	92	106	119	102	118	132	25	10:00	11:40	13:20	15:00	16:00	
LAMINA BRUTA DE ÁGUA APLICADA NA FAIXA IRRIGADA (mm)	53	61	68	55	63	71	61	70	78	30	8:35	10:00	11:25	12:50	13:40	
	42	49	55	44	50	57	49	56	63	35	7:30	8:45	10:00	11:15	12:00	
	35	40	46	36	42	47	40	47	52	40	6:00	7:00	8:00	9:00	9:35	
	30	35	39	31	36	40	35	40	45	50	5:00	5:50	6:40	7:30	8:00	
	27	30	34	27	31	35	30	35	39	60	4:20	5:00	5:40	6:25	6:50	
	21	24	27	22	25	28	24	28	31	70	3:45	4:20	5:00	5:40	6:00	
	18	20	23	18	21	24	20	23	26	80	3:00	3:30	4:00	4:30	4:50	
	15	17	19	16	18	20	17	20	22	100	2:30	2:55	3:20	3:45	4:00	
	13	15	17	14	16	18	15	17	20	120	2:10	2:30	2:50	3:15	3:25	
	11	12	14	11	13	14	12	14	16	140						
	9	10	11	9	10	12	10	12	13							
	8	9	10	8	9	10	9	10	11							
A EMPRESA SE RESERVA O DIREITO DE ALTERAR AS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DESTES PRODUTOS SEM PRÉVIO AVISO																

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A velocidade de recolhimento nos setoriais foi mostrada no painel de controle automático. Já os Irriga Brasil não constavam com este artifício eletrônico, o que necessitou de aferimento manual no início, meio e final das avaliações para afirmar que os parâmetros de dados apresentavam constância dentro do planejado.

O diâmetro molhado efetivo aconteceu com o uso de uma trena de 20 metros de marca Thompson. A velocidade e sentido vento apresentaram instabilidade no momento da distribuição de água, com isso, foi necessário constantemente aferir junto a um equipamento termo-hidro-anemômetro da marca Instrutherm AD-250. Foi possível, também, controlar a pressão de serviço e verificar o perfil de disposição produzido pelo bocal do aspersor.

Posteriormente, as avaliações nos sistemas de dimensionamento linear se repetiram por duas vezes ambos na fazenda conhecida como Cuia Velha, no mês de Março de 2022. O início se deu ao final do período vespertino por ser um horário favorável as variáveis condições do vento, buscando evitar mascarar os resultados por conta da evaporação e deriva.

É uma área considerada pequena com apenas três hectares, onde os coletores precisaram ser dispostos em duas linhas lineares, contendo cerca de trinta coletores em cada linha, totalizando sessenta ao todo. Os coletores foram enumerados em ordem decrescente e decrescente com espaçamento de metros ao lado esquerdo e direito do carreador e dez metros nos demais, como, por exemplo, 5-10-10-10-10-10-5 m. A velocidade de deslocamento foi observada por painel eletrônico, no qual a confirmação de Km/h se deu com a marcação de três pontos cronometrados e a precipitação foi coletada e anotadas em ficha técnica após a passagem de todo sistema aspersor.

3.1 Coeficientes estatísticos utilizados

Por existir diferentes procedimentos ativos para acompanhar a eficiência da uniformidade de distribuição de lâmina em um sistema de irrigação, Neste trabalho, a realização dos cálculos estatísticos, foi realizada com o auxílio dos coeficientes de CUC (

Equação 1), CUD (Equação 2), CUE (Equação 3) e discutidos com base nas classes de desempenho proposto na Tabela 2 (Christiansen, 1942).

Tabela 2 - Classe de desempenho dos sistemas de irrigação em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e CUD e CUE, de acordo com a classificação proposta por Mantovani (2001).

CLASSE	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)
Excelente	> 90	> 84	90 – 100
Bom	80 – 90	68 - 84	80 – 90
Razoável	70 – 80	52 - 68	70 – 80
Ruim	60 – 80	36 - 52	60 – 70
Inaceitável	< 60	< 36	<60

Fonte: Bernardo (2005) e Montavani (2001).

Equação 1 - Coeficiente e Uniformidade de Chistiansen - CUC (%)

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n \bar{x}} \right)$$

Onde:

CUC: Coeficiente de Uniformidade e Distribuição de Christiansen (%)

x_i : Lâmina Coletada no i-ésimo coletor, mm;

$\bar{x}$: Lâmina Média Coletada, mm;

N: Número de coletores.

Equação 2 - Coeficiente de Uniformidade e Distribuição - CUD (%)

$$CUD = 100 \left(\frac{X_{25}}{\bar{X}} \right)$$

Onde:

CUD: Coeficiente de Uniformidade e Distribuição (%)

x25: Média das 25% das observações com menores valores (média do menor quartil);

Equação 3 - Coeficiente de Uniformidade Estatístico - CUE (%)

$$CUE = 100 \left(\frac{SD}{\bar{X}} \right)$$

Onde:

CUE: Coeficiente de Uniformidade Estatístico, %;

Sd: Desvio Padrão dos valores de Precipitação, mm;

$\bar{X}$: média geral dos valores de precipitação, mm.

Além destes (CUC, CUD E CUE), se fez necessário implantação de outros cálculos para os sistemas de irrigação em Autopropelido, como, lâmina média coletada, bruta e aplicada; EPA (Bernardo) e LR(%), conforme segue abaixo:

Equação 4: A lâmina média aplicada (mm)

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi * Si}{\sum Si}$$

Em que:

Xi- Lâmina aplicada no ponto *i*

$\bar{X}$ - Lâmina média aplicada

Si - Distância do coletor ao ponto do pivô

Equação 5: Lâmina bruta de irrigação (mm)

$$LB = \frac{LL}{Ea}$$

Em que:

LB - Lâmina bruta

LL - Lâmina líquida

Ea- Eficiência de irrigação

Equação 6: Lâmina aplicada durante a irrigação (mm)

$$Lapl = \frac{Qm \times T \left(\frac{m^3}{h} \right)}{E1 E2}$$

Em que:

Lapl- Lâmina aplicada durante a irrigação, mm;

Qm- Vazão média do emissor, L h-1;

T - Tempo de irrigação, h;

E1 - Espaçamento entre emissores, m; e

E2 - Espaçamento entre linhas laterais, m.

Equação 7: Lâmina real durante a irrigação (%)

$$\% LR = \frac{(LAX100) - 100}{LR}$$

Em que:

%Lr - Lâmina real durante a irrigação

La - Lâmina aplicada

Lr – Lâmina real

Equação 8: Eficiência em Potencial de Aplicação de Água (%)

$$EPa \text{ Bernardo} = 100 \times \frac{\bar{X}}{Lapli}$$

Onde:

$\bar{X}$: Lâmina Média Coletada, mm;

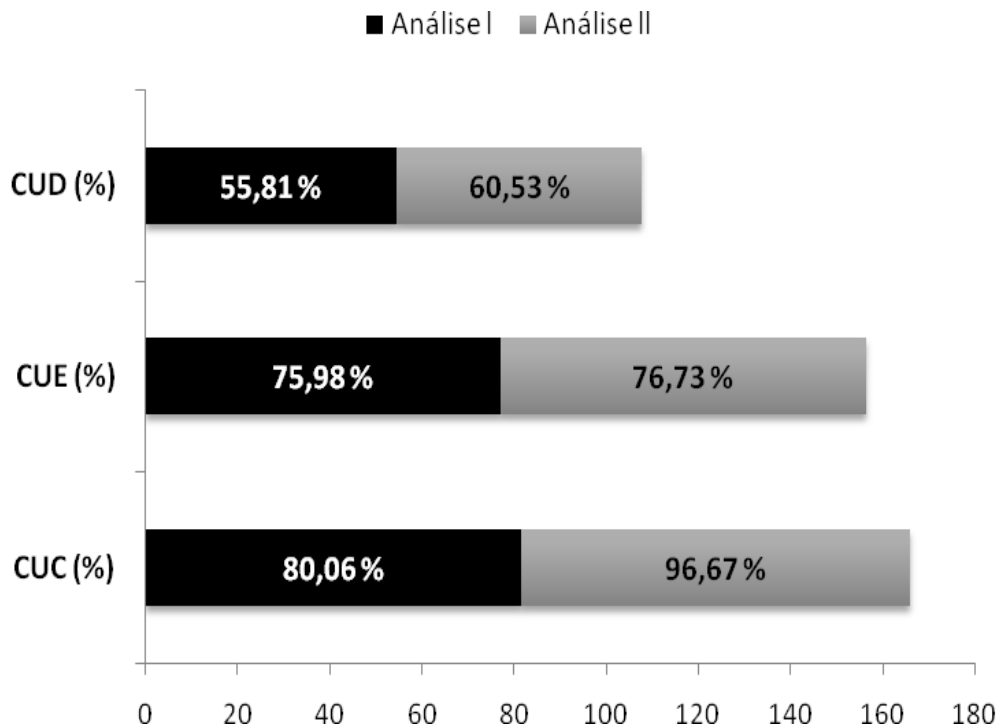
Lapli: Lâmina Aplicada, mm.

$$\text{Variação de velocidade (\%)} = \left(\frac{\text{Velocidade real}}{\text{Velocidade recomendada} \times 100} \right) - 100$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As coletas de vazão no sistema de dimensionamento linear, extraiu-se no painel de controle eletrônico variáveis de voltagem (4,89 volts), vazão - (Q) de 300 m³/h, pressão da bomba de 6 Kgf/cm², velocidade - 20% Km/h e lâmina aplicada de 25 mm na cultura da cana de açúcar. Posteriormente, os volumes precipitados seguiram para as etapas de processamento de acordo com a Figura 8 foi possível identificar variações de coeficientes.

Figura 8 - Valores de CUC, CUD E CUE - (%), no sistema linear.



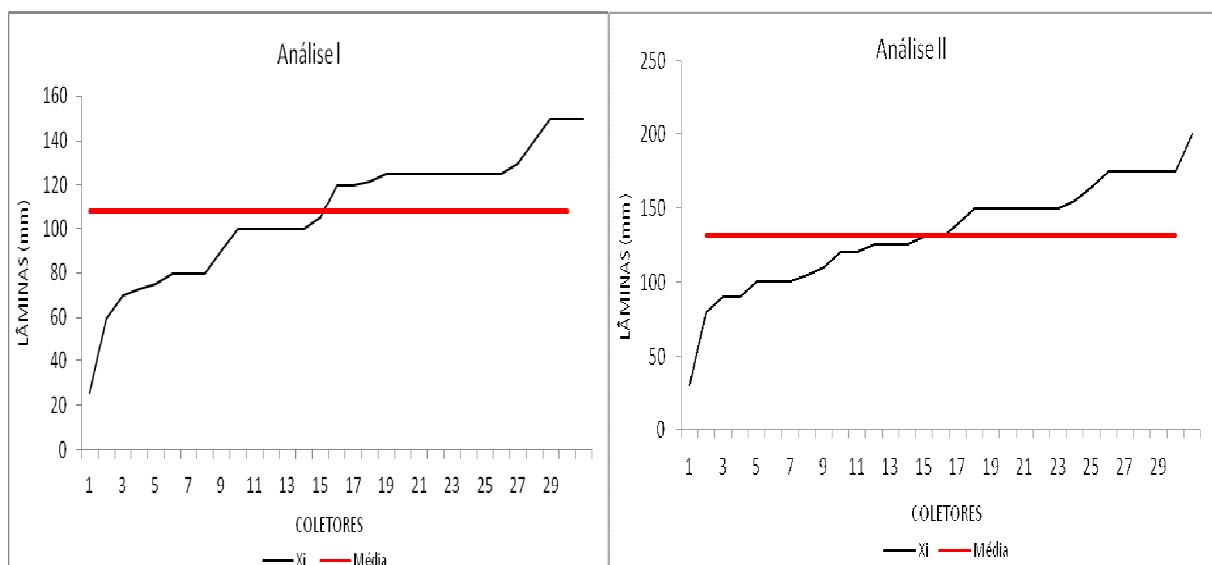
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os valores de Coeficiente de Uniformidade de Christiansen obtidos a partir de simulações e impetrados dos ensaios, tiveram resultados de CUC classificados como bom na análise I e excelente na análise II. Porém, CUD e CUE foram considerados razoáveis estatisticamente, por apresentar média condição. Com base em Rezende (1992), as avaliações de uniformidade têm por função averiguar se o equipamento está trabalhando conforme o previsto projetado por meio de modelos estatísticos. O CUD apresenta valores sempre mais baixos de lâmina aplicada, com 25% menor em comparação com o CUC.

A velocidade de descolamento foi planejada para se deslocar a 20% e lâmina aplicada a 25 mm. Ana (2008), concluiu que uma velocidade de deslocamento excessiva pode interferir na uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação, porque não alcança significativamente os níveis de profundidade efetiva do solo nos quais levarão para uma baixa absorção de água e nutriente. Ademais, este fator ocasiona um maior acúmulo de prejuízos financeiros e influirá para um baixo nível de desenvolvimento da cultura. Caso ocorra uma distribuição ineficiente, a baixa capacidade de retenção líquida presentes no solo trás risco limitadores nas ramificações subterrâneas da cana-de-açúcar, levando a fatores indesejáveis nos períodos de brotação e perfilhamento. Estes acarretam na baixa quantidade de colmos essenciais para uma boa produção devido à presença mínima de elementos minerais.

De modo geral, os coeficientes de uniformidade de distribuição de água, juntamente com a direção e velocidade média do vento, proporcionou variações nas quantidades precipitadas entre os aspersores ao longo da reta de distribuição, refletindo assim em oscilações nas tabulações dos dados (Figura 9). Conforme Follegati; Pessoa; Paz (1998) e Chaves et al. (2010), à patinagem do sistema pode impulsionar para um movimento aleatório das rodas iniciais com relação ao alinhamento no final da torre. Outro fato, é que isto ocorre, principalmente, por desregulamento, entupimento dos emissores ou evaporação hídrica. O desperdício de precipitação ocasiona danos ao meio ambiente e degrada o solo, podendo abrir crateras no relevo e elevar vários problemas erosivos.

Figura 9 - Comparativo de distribuição de lâminas precipitadas - (mm)



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O comportamento gráfico serviu para observar as transformações de desempenho no processo irrigante. É notória uma grande diversificação entre os resultados obtidos, mostrando diferenças crescentes e decrescentes entre o maior valor registrado (29,86 mm e 34,83 mm), e menor valor (11,94 mm e 17,91 mm). A quantidade de lâmina média obtida nos 60 coletores teve equivalente 107,50 mm na análise I e 132,17 mm na análise II. Essas diferenças exercem influência, já que o coeficiente leva em consideração a lâmina total distribuída.

O desvio padrão é a média geral dos valores de precipitação, sendo possível identificar a dispersão dos valores em relação à média (Bussab e Morretin, 1986). Para a obtenção destes parâmetros, foram apresentados valores muito altos (25,82 mm e 30,76 mm) e bastante heterogêneos, ou seja, variáveis e dispersos, possivelmente, por ocorrência de fatores incontroláveis durante o processo de análise.

Por fim, apesar de ocorrer diferentes intensidades de precipitações nos sistemas de irrigação, é possível concluir que ambas as análises nos sistemas linear obtiveram classificação considerados bom. A eficiência de aplicação na análise I constou com 80,6% de CUC, sendo, ficando abaixo da análise II. Isto indica que o manejo da irrigação no momento avaliativo, não estava sendo empregado conforme o previsto devido condições as climáticas, porém, não foi um valor muito expressivo que possa vim causar danos graves ou irreversíveis a cultura. Estas diferenciações notadas possivelmente ocorreram devido o horário que influenciou nas variações, elevando a índices de alta velocidade e sentido do vento.

Com relação aos sistemas Autopropelido, a Tabela 3 apresenta dados percentuais do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), em (%). O equipamento Irriga Brasil teve a função de ser testado irrigando água limpa e Setorial I utilizando fertirrigação, mesmo sendo de fabricantes diferentes e distribuídos com um tipo de fluido opostos, obteve resultados muito próximos. No entanto, o percentual desse resultado pode ser considerado razoável, conforme a tabela de classificação. Com isso, é importante que a quantidade de distribuição na faixa irrigada esteja dentro da porcentagem aceitável para viabilizar a necessidade ideal da cultura.

Tabela 3 - Resultado dos Coeficientes de Uniformidade de Distribuição - CUD.

	IrrigaBrasil	Setorial I	Setorial II	Setorial III
CUD (%)	68,14 (%)	60,89 (%)	49,17 (%)	44,62 (%)
	Razoável	Razoável	Ruim	Ruim

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

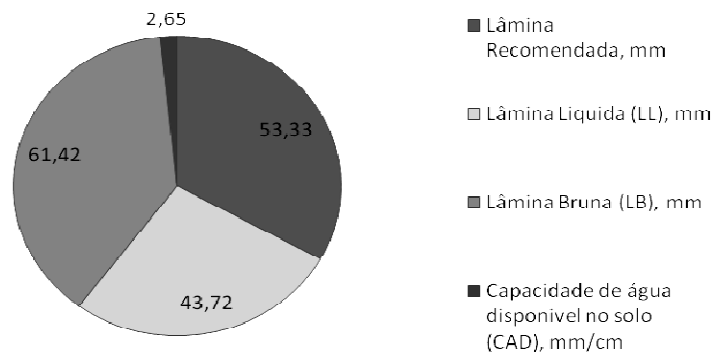
Desde já, é possível afirmar que os sistemas de marca setorial II e III, apresentaram resultados considerados ruins, com números bastante baixos de CUD (49,17% e 44,62%), tornando-se um fator preocupante. Segundo Martins (2009), esta baixa uniformidade de aplicação de água nos sistemas de irrigação se dão em grande parte ao mau dimensionamento do projeto, condições meteorológicas desfavoráveis, entupimento do canhão aspersor, interferência do vento, perdas por vazamento em tubulação, competição de áreas, pessoas inadequadas tecnicamente para manusear o sistema e à ausência de acompanhamento periódico.

Funcionando razoavelmente e mantendo-se em condições para permanecer trabalhando é o setorial I. O equipamento II teve uma perda muito grande pela presença de vazamentos nas tubulações e competição na força da sucção de bombas em área próxima a este. O aparelho III, também, não obteve número significativo nas avaliações, necessitando de vistoria e adaptações para melhorar seu desempenho. Nesse sentido, o sistema IrrigaBrasil, teve mais eficiência de aplicação, destacando-se dos demais por apresentar melhores uniformidade de área precipitada.

Os valores de superposição das linhas distribuídas apresentaram alterações nas precipitações de água, devido diversos fatores, um deles é entupimento de saída de água no aspersor, outro é apresentar defeito no controlador de pressão de saída. Com base nos resultados a uniformidade que apresentou percentual razoável e bom para uso foram os equipamentos Setorial II e IrrigaBrasil.

Em todas as avaliações ocorreram mudanças visíveis, sendo possivelmente observada nos gráficos e explicada com o uso das repetições realizadas em dias diferentes e em condições edafoclimáticas variáveis. Um aspecto climático observado foi com relação ao vento que acabaram perdendo água por deriva e evaporação atmosférica, devido a este, a precipitação não atingiu todos os 80 coletores distribuídos em ambos os lados. Eventualmente, a temperatura local chegou ao máximo de 24°C e mínimo de 20°C, ocasionando uma maior evaporação de água para atmosfera durante as análises. Por isso, é de extrema importância interpretar dados com o auxílio de tabelas e gráficos estatísticos, pois, fazem parte de uma linguagem universal, é uma forma dinâmica de descrever informações, servindo para produzir uma visão técnica e formar critérios de soluções futuros. Além dos cálculos específicos para a classificação da eficiência e uniformidade dos sistemas em Autopropelido, foi necessário realizar alguns outros parâmetros importantes para a obtenção dos resultados posteriores Figura 10.

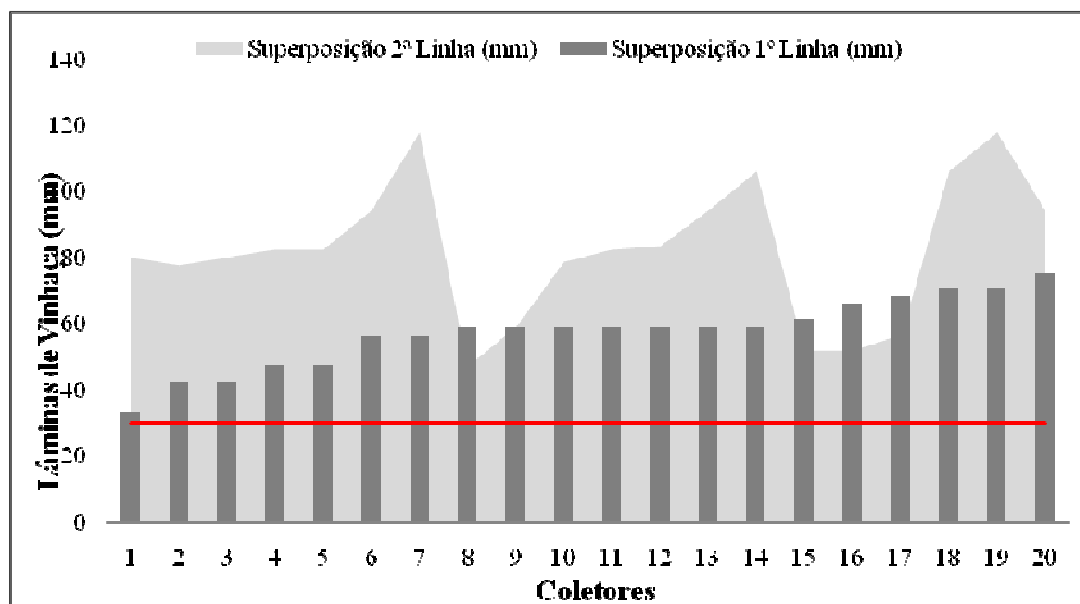
Figura 10 - Parâmetros hídricos analisados



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Foi possível recomendar ao planejamento uma lâmina de 53,33 mm, porém, foi distribuído cerca de 43,72 mm, possuindo assim uma variação de dosagem de 9,61%. Lâmina bruta a 61,42 mm e CAD 2,65 mm/cm. A velocidade do vento foi um fator que prejudicou bastante as operações, ocorreu alternância em sua direção, sendo considerado por Rocha (2000) um evento forte para a eficiência de lâmina no sistema. É possível observar as lâminas foram melhores distribuídas nos coletores mais próximos ao canhão este fenômeno, influenciou na sobreposição gerando diferenças e perdas abaixo do desejável nos mais distantes (Gráfico 3, 4 e 5).

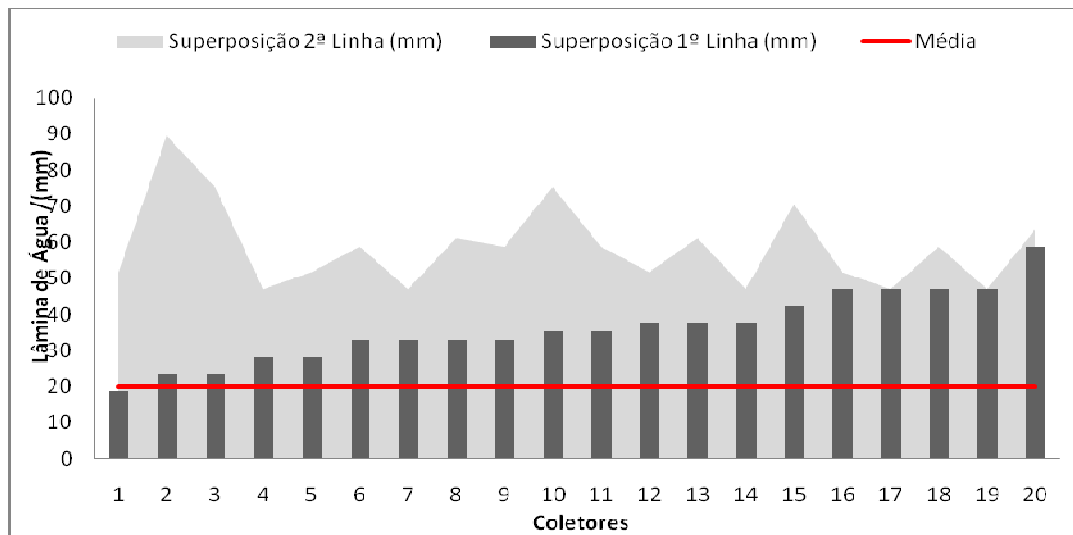
Figura 11 - Sobreposição de lâminas fertirrigadas em sistema Irriga Brasil



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

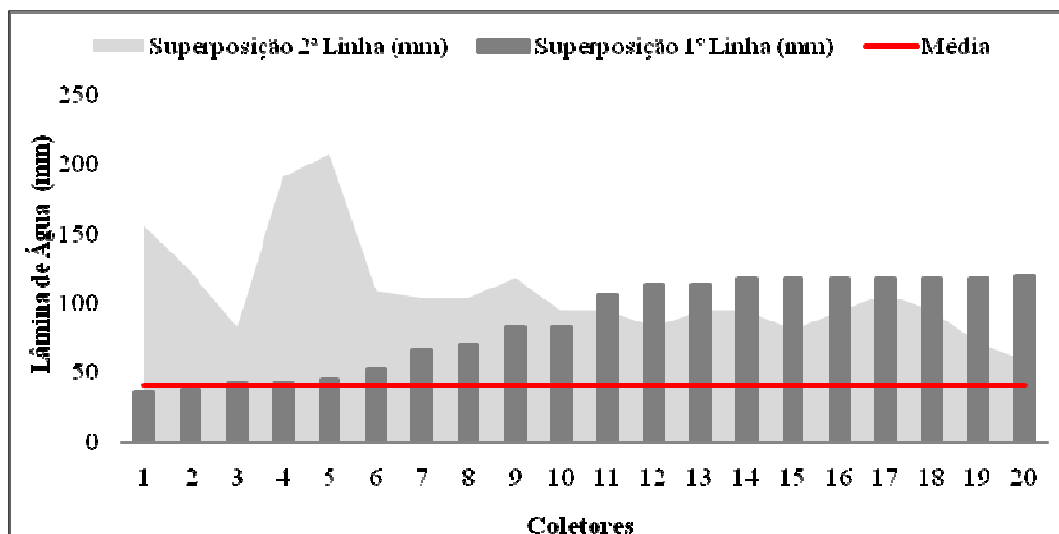
Na segunda linha do lado direito - (LD) houve diferenças de superposição comparando-se com a primeira do lado esquerdo - (LE), por ocorrência dos jatos de água lançados ao ar e pressão da deriva do vento que impossibilitou o irrigante distribuir uma vazão que mais se aproxima da necessidade hídrica da cultura. Nos gráficos abaixo (*Figura 12*) as sobreposições das lâminas da segunda linha apresentaram diversificações de intensidade, não possuindo um fluxo constante de água nos coletores. Já na primeira linha de superposição apresentou números menores que podem influenciar para uma baixa alocação de recursos essenciais ao desenvolvimento da planta.

Figura 12 - Sobreposição lâminas coletadas em na repetição Setorial I



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

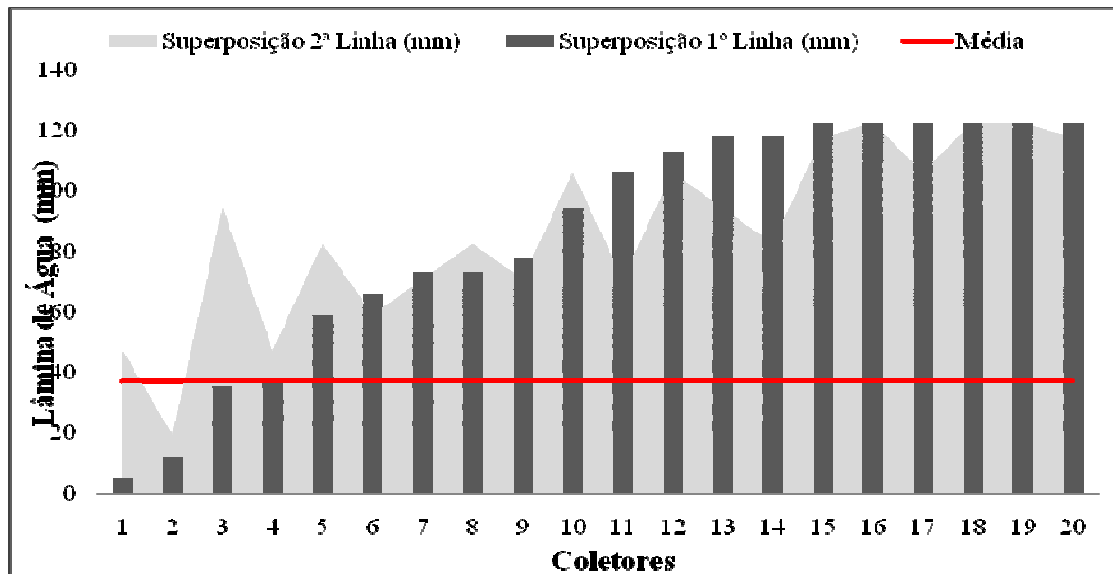
Figura 13 - Sobreposição lâminas coletadas em na repetição Setorial II



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Em contrapartida, a análise do gráfico 6 apresentou valores de lâmina de vinhaça nos coletores bastante aproximados, sendo, o equipamento que mais houve uma correlação de dados aproximados de sobreposição. Isso pode ser explicado por fatores favoráveis de condições climáticas durante o processo de distribuição de água na avaliação.

Figura 14 - Sobreposição lâminas coletadas em na repetição Setorial III



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

É possível observar que houve uma diversificação de vazão de acordo com os testes, fazendo com que a quantidade de lâmina entre linhas sofressem uma intensidade de variações. Com isto, a desuniformidade fica visível através da coleta, diâmetro molhado, características de deficiência ou até mesmo com a observação de falhas de germinação durante as fases de crescimento. Todavia, acontece por muitas vezes quando uma fração de área é irrigada em excesso ou ocorre uma distribuição incorreta, influenciando para um déficit de água e não atende a necessidade hídrica do canavial.

A princípio, a dosagem recomendada serve para seguir uma metodologia correta para uma boa aplicação de água com base na evapotranspiração da cultura (ETc). Desse modo, os sistemas Autopropelido atingiram uma dosagem maior que a recomendada, exceto o sistema I ficando com um saldo negativo de -57,53 m³/ha. Diante disto, uma técnica que pode ser feita quando acontecem esses fatores indesejáveis, que supostamente foram ocasionadas por algum erro ou mau dimensionamento, é o uso de uma de frequência irrigação entre duas vazões sucessivas, a fim de conseguir moldar este cenário de acordo com as fases da cultura, conforme a Tabela 4 (Embrapa, 2010).

Tabela 4 - Parâmetros comparativos dos sistemas Autopropelido

Parâmetros	Equipamentos			
	IrrigaBrasil	Setorial I	Setorial II	Setorial III
Dosagem planejada (m ³ /ha)	533,33	533,33	533,30	533,33
Dosagem realizada (m ³ /ha)	698,30 (Razoável)	475,82 (Ruim)	967,55 (Excelente)	865,67 (Bom)
Lâmina Total (mL):	5.929,00 (Razoável)	4.040,00 (Ruim)	8.215,00 (Excelente)	7.350,00 (Bom)
Lâmina Média (mL):	148,23 (Excelente)	101,00 (Razoável)	205,38 (Excelente)	183,75 (Bom)
Lâmina Mínima (mL):	101,00 (Excelente)	61,50 (Razoável)	98,89 (Excelente)	82,00 (Bom)
Lâmina Média (mm):	69,83 (Razoável)	47,58 (Ruim)	96,75 (Excelente)	86,57 (Bom)
Lâmina Mínima (mm):	47,58 (Bom)	28,97 (Ruim)	46,59 (Bom)	38,63 (Médio)

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Este resultado, segundo Gpid (2016), indica que o desempenho do aspersor instalado nos sistemas IrrigaBrasil, Setorial II e III, de forma geral, encontra-se dentro do que é recomendado. Conforme o mesmo autor, para culturas de elevado valor econômico, estes valores de lâmina total devem ficar em patamares acima de 90% para serem considerado um raio molhado com destaque significativo. Números baixos de eficiência de lâmina média apontam perda expressiva de água por escoamento nas tubulações e/ou bombas danificadas, refletindo na produtividade e na qualidade da cana produzida.

As lâminas mínimas (mm) se mantiveram constante nos ensaios IrrigaBrasil e Setorial II, havendo diferenças um pouco menores no setorial I e III. Posteriormente, as análises das linhas do lado esquerdo (LE) e lado direito (LD) apresentaram bastantes variações, ocasionando percas, principalmente, no lado esquerdo por grande influência da direção e velocidade do vento no momento das avaliações, comprometendo assim os resultados com perdas de água por evaporação. Estas interferências atrapalham em uma interpretação adequada do equipamento que por muitas vezes a área planejada não é suficiente molhada.

Outro resultado insatisfatório que influíram nos resultados foi à presença de vazamentos nas tubulações e no acoplamento da mangueira, visualizadas na hora do teste. As perdas de água por vazamento são decorrentes das condições de manutenção do projeto. Em sistemas com boa conservação o percentual pode atingir menos de 1%, entretanto, naqueles com manutenções ineficazes e perdas de vazão nos acoplamentos e tubulações, esse valor pode chegar a 10%, ou seja, a eficiência de condução de água será somente de 90% (MUDRIK, 2005). O dimensionamento correto determinará maiores rentabilidades dos ciclos e sustentabilidade na cultura da cana-de-açúcar. Analisando os resultados das vazões mínimas do Setorial I, é possível observar um baixo potencial mínimo, mantendo, um destaque negativo comparando-se com os demais. Quanto à lâmina média o equipamento setorial II apresentou o maior resultado e o Setorial I o menor valor. Já os demais houve poucas influências na vazão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os cálculos apresentados neste trabalho permitem definir precisamente os valores de precipitação e pressão dos aspersores ao longo das análises. Como base nessas informações, pode-se então afirmar que apesar da intensa influência do vento o sistema linear distribuiu água de forma a se destacar se mostrando em apto funcionamento, em especial, na segunda avaliação com CUC de 96% de eficiência.

As repetições nos sistemas Autopropelido serviram para concluir que os efeitos e deriva do vento foi um fator bastante prejudicial para as padronizações precipitada, no entanto, as lâminas foram melhores distribuídas nos coletores mais próximos ao canhão este fenômeno, influenciou na sobreposição gerando diferenças e perdas abaixo do desejável nos mais distantes. Houve baixa uniformidade de aplicação de água levando em conta os valores de CUD na análise II devido interferências climáticas e vazamento na tubulação, além da III que necessita de um olhar periódico e correções. O teste I manteve-se em condições razoáveis para permanecer em funcionamento. A repetição que mais se destacou foi na marca Irriga Brasil apresentando CUD de 68,14%.

REFERÊNCIAS

- ANA/INOVAGRI. **Manejo da Irrigação: quando, quanto e como irrigar**. Disponível em: <https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/handle/ana/275>. Acesso em 01/09/18.
- ALBUQUERQUE, P. E. P. de; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. 2ª ed. Brasília: Embrapa, 2013. 528p.
- ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T. **Estratégias de manejo de irrigação: Exemplos de cálculo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 14 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 136).
- BUSSAB, W.O; MORETTIN, A. **Estatística Básica**. 3 ed. São Paulo: Atual, 1986.
- CONAB – Companhia nacional de abastecimento. 2022. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar. Safra 2021/2022 – Primeiro Levantamento**, Brasília, v. 11, n.1, p. 1-60, 28 Disponível: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 25 mar. 2022.
- CHRISTIANSEN, J.E. Irrigation by sprinkling. **California Agricultural Experimental Station Bulletin**, Berkeley, n. 670, 1-124, 1942.
- CRONQUIST, A. **An integrated system of classification of flowering plants**. New York: Columbia University Press, 1981. 1262p.
- FEIS - FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA.. Unesp. Em linha reta. [S.l.]. Cultivar, 2014. Disponível em: <https://www2.feis.unesp.br/irrigacao/em_linha_reta.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2022.
- FOLEGATTI, M. V.; PESSOA, P. C. S.; PAZ, V. P. S. **Avaliação do desempenho de um pivô central de grande porte e baixa pressão**. Scientia Agricola, Piracicaba, v. 55, n. 1, p. 119-127, abr. 1998.
- GPID - GRUPO DE PRÁTICAS DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM – ESALQ/USP. Custos de implantação e operação da irrigação de pastagens. Disponível em <<https://gpidesalq.wordpress.com/2013/06/>> Acesso em dezembro de 2022.
- HART. W. E. **Analytical design of sprinkler system**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, n.9, v.1, p. 83-85, 1965.
- INSTITUTO AGRONÔMICO. **Censo varietal de cana-de-açúcar no Brasil 230**. ed. São Paulo: IAC, 2023. Disponível em: <[https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/arquivos/iacbt230](https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/arquivos/iacbt230.pdf)>.pdf. Acesso em: 7 fev. 2022.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTIC. **Produção de Cana-de-açúcar**. Alagoas: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cana-de-acucar/br>. Acesso em: 1 jul. 2022.

MARCHIORI, PAULO E.R. ; Machado, Eduardo C. ; Ribeiro, Rafael V.. **Photosynthetic limitations imposed by self-shading in field-grown sugarcane varieties**. Field Crops Research. v. 155, p. 30-37, issn: 0378-4290, 2013.

MARTINS, C. A. da S. **Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação em áreas cultivadas no Sul do Estado do Espírito Santo**. 2009. 107 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Centro de Ciências Agrárias, UFES, Espírito Santo, 2009.

MANTOVANI, E. C. **Avalia: Programa de avaliação da irrigação por aspersão e localizada**. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV, 2006. 318 p.

MELO, S. B.; GALON, L.; SOUZA, E. F. M.; REZENDE, M. L.; RENATO, N. S. Aquecimento global e um estudo da produtividade potencial da cana de açúcar para a região de São Paulo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, p. 10-17, 2007.

MUDRIK, Alexandre Silva. **Manejo da irrigação por gotejamento em cafeeiros nas condições edafoclimáticas do cerrado do Triângulo Mineiro**. 2005.

NETTO, A. O. A; BASTOS, E. A. **Princípios Agronômicos da Irrigação**. Embrapa, Brasília, 2013. 262p.

PELAEZ, V. **Agrotóxicos, agricultura e mercado: mesa de controvérsias sobre agrotóxicos**. Brasília: CONSEA, 21 set. 2012. Disponível em: . Acesso em: 04 mar.2022.

SOUZA,J.L.;MOURAFILHO,G.;LYRA,R.F.F.;TEODORO,I.;SANTOS,E.A.;SILVA,J.L.;SLV A,P.R.T.;CARDIM,A.H.;AMORIM,E.C.**Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do Tabuleiro Costeiro de Maceió, AL, período 1972-2001**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.12, n.1, p.131-141,2004.

SCALLOPI, E. J.; COLOMBO, A. **Dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersores autopropelidos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24; 1995, Viçosa. Anais... Sorocaba: SBEA, 1995.p.218.

REZENDE. R. **Desempenho de um sistema de irrigação pivô central quanto à uniformidade e eficiência de aplicação de água abaixo e acima da superfície do solo**.Piracicaba: ESALQ/ USP, 1992. 86p. Dissertação Mestrado.

RICHARDS, D.L.; REED, D.W.. **New Guinea impatiens growth response and nutrient release from controlled-release fertilizer in a recirculating subirrigation and top-watering system**. HortScience 39:280-286. 2004.

REZENDE, Ronaldo. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Irrigação. Alagoas: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agenciadeinformacaotecnologica/cultivos/cana/producao/manejo/irrigacao>. Acesso em: 5 set. 2022.

RODRIGUES, F.. Custos e Benefícios da Irrigação no Brasil. Revista ITEM: **Irrigação e Tecnologia Moderna**. Brasília. ABID. Ed. No 41. Junho de 1990.

RODRIGUES, F.. Custos e Benefícios da Irrigação no Brasil. Revista ITEM: **Irrigação e Tecnologia Moderna**. Brasília. ABID. Ed. No 41. Junho de 1990.

ROCHA, A. F. **Desempenho de um equipamento de irrigação autopropelido em condições de campo**. 2000. 80 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SENAR, Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Saúde e Saneamento rural. **Cartilha número 226**. Brasília, 2019.

TESTEZLAF, Roberto. **Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações**. [s. l.], 2011. Disponível em:< <https://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/451>>. Acesso em: 25 out. 2022.

TESTEZLAF, R.; **Irrigação: método, sistemas e aplicações**. Campinas, SP: Unicamp/FEAGRI, 2017, 215p.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E.. **Engenharia de irrigação: tubos e acessórios**. Campinas, SP: Unicamp/Faculdade de Engenharia Agrícola, 2015. 153p.